ZeroErr

eRob

机器人关节模组

用户手册

版本 3.46



快速组建机器人

资料获取

Copyright © 2026 ZeroErr All Rights Reserved.

www.zeroerr.cn

安全事项说明（务必遵守）

对本产品进行安装、操作、维护或检查之前，请仔细阅读本用户手册及其附录。错误处理关节模组会对人员造成伤害或损坏财产。因此，操作人员必须确保已阅读并理解本手册，请务必遵守本手册中的安全注意事项。

下面的标志定义了本手册中所包含的危险等级规定说明。

• 警告标志

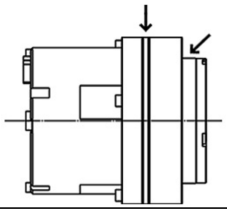
标志	含义
	**危险：** 这指的是即将引发危险的用电情况，如果不避免，可导致人员死亡或严重伤害。
	**危险：** 这指的是即将引发危险的情况，如果不避免，可导致人员死亡或严重伤害。
	**警告：** 这指的是可能引发危险的用电情况，如果不避免，可导致人员伤害或设备严重损坏。
	**警告：** 这指的是可能引发危险的情况，如果不避免，可导致人员伤害或设备严重损坏。
	**警告：** 这指的是可能引发危险的热表面，如果接触了，可造成人员伤害。
	**小心：** 这指的是一种情况，如果不避免，可导致设备损坏。

• 请务必遵守以下事项，以避免造成人身伤害

	危险
1、设置适当的保护限制 在操作本产品的力矩模式时，若上位控制器下发目标指令不正确，可能导致意外飞车情况。请注意在上位控制器和本产品驱动器设定适当的保护限制，包括位置限制、速度限制和电流限制，以确保设备和人身安全。	
2、执行风险评估 机器制造商必须对机器进行风险评估，并采取适当措施来确保意外的移动不会造成任何人身伤害或财产损失。通过风险评估，可能还会对专业人员提出更多要求。	
3、组装注意事项 确保关节正确并安全地安装到位，不会有意外坠落造成危险。我司不对因非正常操作造成的任何损坏负责。	
	警告
1、进行空载试运行 在试运行时，为防止意外事故的发生，请对关节模组进行空载（不与传动轴连接的状态）试运行，否则可能会导致受伤。	
	警告
1、当心高温表面 电机在运行过程中，根据它们的防护类别，表面可能会非常烫。表面温度会超过 85 ℃，当心轻度烧伤。测量温度并等待，直到电机冷却到 40 ℃以下再去触碰。	
2、未安装时的空载运行 模组在空载运行时仍会因摩擦、搅油损失及保持制动器功耗而发热。未完成安装时散热条件较差，可能触发温度保护。请注意表面温度及烫伤风险；空载功耗数据见第 26 章。	

• 请务必遵守以下事项，以避免造成模组损坏

⚠ 警告
1、注意金属屑落入接口缝隙的风险 安装前请严格清洁安装外壳表面，确保安装环境无金属屑。常见的有：因为机器人安装时拆装螺丝产生的金属屑、机加工零件配合面磨削出来的金属屑、制作线缆时断掉的金属铜线。请注意在安装、接线等过程中需确保不会有金属屑掉落到关节后盖的电气接口（包括：CAN 接口、EtherCAT 接口、RS485 接口、IO 接口、多圈电池接口、电源接口以及各接口缝隙里面）、通孔里面以及关节中空孔（输出端编码器码盘安装位置）的缝隙里面，否则会导致通信不良以及电气故障。
2、请勿在带电时插拔电源线 请确认在 Power LED 指示灯熄灭以后，再进行接线和检查作业。
3、请勿在带电时插拔 CAN 线 由于主站控制器与关节两端的 CAN_GND 在没接线时电平可能不一样，在接通的瞬间，两端 CAN_GND 之间的压差会导致 CAN 接口损坏。
4、请勿在带电时插拔 RS485 通讯线 由于主站控制器与关节两端的 GND 在没接线时电平可能不一样，在接通的瞬间，两端 GND 之间的压差会导致 RS485 接口损坏。 **注：**上述带电插拔情形包括设备、关节、控制卡等带电时进行插拔。
5、请正确、牢固地连接电源端子 请参考本文档第 5.10 节“电源端子受力说明”。
6、注意外壳接地防护 eRob 关节外壳如不进行合理的接地处理，可能导致外壳积累电荷而带电，应对外壳进行合理的接地处理，详见本文档第六章《多关节模组间线缆连接》接线图、《6.6.3. 关节外壳接地》说明。
7、请勿使用非本公司提供的其它型号电池 带有多圈计数功能的关节，包装内附有电池，该电池具有稳定的电压，-55 ℃ ~85 ℃的温度使用范围以及十年以上的正常工作寿命。该电池缺失时请至www.zeroerr.cn 购买，请勿使用其它型号电池，其它电池可能导致关节故障，我司不对其它型号电池使用提供技术支持。 通常是一个关节使用一个电池，接线更方便且更可靠。对于将一个电池改装为同时对多个关节模组供电，我司不对此改装接线后产生的任何后果负责。
8、请勿超过允许的电压和电流值 注意技术数据。遵守有关连接条件的技术数据和规格（铭牌和文档）。如果超过允许的电压值或电流值，则会损坏电机，比如出现过热。

⚠ 警告
1、注意易锈部位风险 右图箭头部位材料易生锈，安装操作时请注意佩戴手套和防锈处理。 
2、请勿超出容许转矩 施加转矩请不要超出瞬间容许最大转矩。否则可能会出现拧紧部螺栓松动、产生晃动、破坏等，导致产品故障。机械臂等直接附着到输出轴时，碰撞机械臂会导致破损、输出轴不能控制。
3、请勿拆解组合产品 本产品为高精密设备，必须由专业人员进行安装、调试，严禁对组合产品实施拆解、重新组装。重装无法恢复其原先的性能。非正常使用本产品导致产品故障将失去本产品保修权利。
4、请勿更改部件组合 整个产品是由各个部件组合而成的。混同其它套件使用时，不保证其能发挥特定性能。非正常使用本产品导致产品故障将失去本产品保修权利。
5、揭取本产品防撕保修标签将失去该产品保修权利。

6、请在规定环境下使用

①本产品防护等级为 IP54。

②极限工作温度：-40~70 ℃（温度过低时关节摩擦力将明显增大，进而导致运行电流增大，温度过高时易触发过温报警保护和停机动作）

一般使用温度：0~60 ℃；一般保存温度：-30~60 ℃；

使用低温用润滑剂会改善模组在低温下的运行阻力，型号说明详见本文档第二章《关节基本参数》。

③使用、保存湿度：20%~80%RH（无结露）；

④无粉尘、金属粉、腐蚀性气体、易燃性气体、油雾等。

7、请小心取用产品及部件

请勿使用锤子等用力敲打各部件及组合。此外，请确保不会因坠落等原因导致裂纹、瘪痕等。否则会导致产品破损。在破损状态下使用时，无法保证其性能。还可能会导致损坏等故障。

8、运输

确保运输关节时操作人员身体不过分负重，运输时保持好原包装。使用适当的运输设备，应遵守所有地区性和国家性的运输指南。我司不对因运输造成的任何损坏负责。

9、使用注意事项

零差云控关节模组具有多个优秀的特点，但原理或结构上的错误操作不仅无法发挥其性能，还可能会导致破损等故障。使用时，请特别注意以下内容：

(1) 请不要用于可能会坠落的用途。

关节模组坠落后，即使表面没有出现伤痕，内部应力蓄积仍可能会降低疲劳强度，因此请勿使用。

• 请务必遵守以下事项，以避免运行效果不及预期

⚠ **警告**

以下操作会造成运行效果不及预期：

1、锁紧螺钉时，未按第 19.3 节规定的方法，或未按第 19.4 节规定的推荐拧紧扭矩、最小有效啮合长度及适用条件执行。

2、放置于木桌上运行。

3、将关节安装在活动平台上（如地脚未紧固好）运行。

4、安装塑料外壳或 3D 打印外壳无法很好的散热从而导致关节表面温度过热。

⚠ **警告**

1、出现异常抖动或噪声时，请先按第 19 章检查安装面清洁度、平面度、支撑刚度及螺钉紧固情况。安装确认无误后仍有异常，请按第 27 章排查或联系技术支持。

2、将机器人安装在一个足够坚固的表面（如钢板），此外该表面应没有震动。

3、即使选择通信类型位为 E 的 EtherCAT 配置，仍然建议在整机系统中连接并保留关节 CAN 通信线，并提前设定好关节 CAN ID（参考本手册第 6.2 节），以便于在后续的调试中对各个关节进行调试，包括排查故障、修改参数、升级固件等。

⚠ **小心**

1、悬空空载运行

eRob 关节在空载运行也会产生发热，未完成实际安装的模组会因热量无处扩散导致温度逐渐上升，直至触发温度保护，请谨慎测试。悬空高速连续运行，在该场景下的过热并非模组故障。模组正常安装即可，无需加装额外散热的部件。

2、搅油噪音提示

eRob 关节会在轴向水平静置一段时间后，在以 80% 额定速度以上运行时，因油脂沉降分布不均，出现轻微搅油噪声，该声音会在运行约 5 分钟左右后随运转后油脂逐渐均匀分布自然消失。该噪声特点是：①静置至冷机后以高速运行时出现；②竖直状态噪声小于水平状态；③高温时噪声小于温度低时；④低速噪声小于高速时；⑤该声音在运行约 5 分钟后会自然消失。该噪声并非关节故障，请放心使用。

- 维护保养

⚠	警告
1、用于特殊行业时的防护处理 本产品整体防护等级为 IP54。特殊使用环境需要的附加防护，应根据实际使用条件确定。	
2、关节模组里面的油脂不需要定期更换，谐波减速机无法更换油脂。	

- 关于报废

⚠	警告
1、按工业废弃物标准进行处理 废弃时，请按工业废弃物进行处理。	

目录

安全事项说明（务必遵守） i

一、 eRob 简介 1

1.1 关于本手册 . . . 1

1.2 eRob 产品简介 . . . 1

二、 关节基本参数 2

2.1 质量、质心（重心）与惯性参数说明 . . . 15

三、 eRob 电气特性与输入电源说明 16

3.1 电源电压和电流额定值 . . . 16

3.2 eRob 能容许的最高输入电压 . . . 16

3.3 eRob 能容许的最低输入电压 . . . 18

四、 关节正转方向 19

五、 电气接口和指示灯说明 20

5.1 指示灯功能 . . . 20

5.2 CAN 通信接口 . . . 22

5.3 EtherCAT 通信接口 . . . 23

5.4 多圈供电电池接口 . . . 24

5.5 48V 供电电源接口 . . . 25

5.6 I/O 信号端子 . . . 26

5.7 ESD 标准说明 . . . 27

5.8 线缆规格说明 . . . 28

5.9 连接器受力说明 . . . 28

5.10 电源端子受力说明 . . . 30

六、 多关节模组间线缆连接 32

6.1 电源接线方式说明 . . . 32

6.1.1 协作机械臂电源接线推荐示例 . . . 34

6.2 CAN/CANopen 通信接线图 . . . 37

6.3 EtherCAT 通信接线图 . . . 38

6.4 Modbus-RTU 通信接线图 . . . 39

6.5 I/O 信号端子接线图 . . . 39

6.6 重要的布线相关说明 . . . 41

6.6.1 关节中孔走线注意事项 . . . 41

6.6.2 线缆和电池固定方式说明 . . . 42

6.6.3 关节外壳接地 44

七、 重要的制动器使用说明 45

7.1 使用说明及注意事项 45

7.2 关于制动器的寿命 46

7.2.1 开合次数 46

7.2.2 闭合时，强制拖动次数 46

7.3 非使能状态，强制开启制动器操作方法 46

7.3.1 eTuner 安装调试软件操作 46

7.3.2 EtherCAT 操作 47

7.3.3 CANopen 操作 48

7.4 制动器异常判断方法 50

八、 回收动能的处理 51

8.1 回收动能产生原因分析 51

8.2 处理方法 51

8.2.1 加泄放电阻 51

8.2.2 加超级电容 51

8.2.3 加蓄电池 52

九、 编码器和位置反馈 53

9.1 编码器分辨率和单圈位置反馈 53

9.2 关节的位置反馈 53

9.3 使用单圈功能的关节位置和注意事项 55

9.4 使用多圈功能的关节位置和注意事项 55

9.5 机械零点标定功能使用说明 56

9.5.1 单圈关节机械零点标定功能 56

9.5.2 多圈关节机械零点标定功能 57

9.6 位置保护功能使用说明 58

十、 多圈供电电池说明 60

10.1 电池作用 60

10.2 电池使用注意事项 60

10.3 多圈电池电流与维护 61

10.4 电池相关报错处理 62

十一、 多圈编码器电池欠压报警功能说明（多圈配置） 63

11.1 48V 电源从关闭到已启动时的状态（0 → 1） 63

11.2 48V 电源已启动时的状态（1） 63

11.3 48V 电源启动到关闭再启动时的状态（1 → 0 → 1） 64

十二、 减速比的解析 65
12.1 减速比分析 . . . 65
12.1.1 输出转速计算 . . . 65
12.1.2 速度设定与角速度换算 . . . 65

十三、 连接 eTuner 安装调试软件 68
13.1 eTuner：安装与连接 . . . 68

十四、 eTunerII 安装调试软件（新版） 70
14.1 使用范围与帮助文档 . . . 70
14.2 安装与连接 . . . 70
14.3 参数编辑与保存 . . . 70
14.4 工作台总览与主要入口 . . . 71
14.5 常用功能与帮助索引 . . . 72
14.6 需要区分的软件行为 . . . 72

十五、 关节试运行 73
15.1 eTuner：试运行 . . . 73
15.2 eTunerII（新版）：运动调试 . . . 74

十六、 带负载后的 PID 整定 75
16.1 速度环调节 . . . 75
16.2 位置环调节 . . . 77
16.3 EtherCAT 动态修改 PID 功能 . . . 79
16.4 eTunerII（新版）：PID 与示波器入口 . . . 81

十七、 特殊功能说明 81
17.1 PDO 动态配置功能 . . . 81
17.2 可变积分上限的 PID 控制功能 . . . 82

十八、 各方向受力允许值 83
18.1 确认最大负载静力矩 . . . 83
18.2 确认主轴承寿命 . . . 84
18.2.1 平均负载计算 . . . 84
18.2.2 负载系数计算 . . . 85
18.3 确认静态安全系数 . . . 86
18.4 减速机棘爪扭矩 . . . 86

十九、 关节安装要求 88
19.1 连接法兰止口要求 . . . 89
19.2 安装座孔径推荐尺寸及公差 . . . 90
19.3 螺钉锁紧方法 . . . 91

19.4 螺钉推荐拧紧扭矩及最小有效啮合长度 . . . 91
19.5 常见的非正常安装 . . . 94
19.6 严格清洁安装表面 . . . 97

二十、 固件版本升级 97

二十一、 恢复出厂参数功能 98

二十二、 安全转矩关断 (STO) 功能使用说明 99
22.1 STO 功能配置 . . . 99
22.1.1 一路 STO 功能配置 . . . 99
22.1.2 两路 STO 功能配置 . . . 100

二十三、 扭矩传感器 101

二十四、 关于使用寿命 105

二十五、 脉冲 + 方向控制使用说明 107
25.1 脉冲 + 方向控制参数配置 . . . 107
25.2 脉冲 + 方向运动控制 . . . 108

二十六、 输出特性曲线 110
26.1 关节模组电机电流-输出扭矩-转速曲线 . . . 110
26.2 关节模组电机参数 . . . 120
26.2.1 结构版本代号识别 . . . 120
26.2.2 电机参数 . . . 121
26.3 关节模组输出扭矩-转速曲线 . . . 126
26.4 关节模组母线电流-输出扭矩-转速曲线 . . . 132

二十七、 故障排查说明 137
27.1 CAN 通信异常的排查步骤 . . . 137
27.1.1 eTuner 安装调试软件“连接测试”时提示：请检查驱动器是否上电 . . . 137
27.1.2 eTuner 安装调试软件连接测试识别 CAN ID 数量少于实际连接数量 . . . 139
27.1.3 eTuner 安装调试软件状态监控界面数据显示跳变异常 . . . 139
27.2 EtherCAT 通信异常的排查步骤 . . . 140
27.3 电机堵转报错的排查步骤 . . . 141
27.4 速度误差超限报错的排查步骤 . . . 143
27.5 断电重启后关节位置多一圈或少一圈的排查步骤 . . . 143
27.6 RS485（Modbus）通信异常的排查步骤 . . . 144

二十八、 关于刚性 145
28.1 刚性 . . . 145
28.2 扭转量的计算示例 . . . 146

28.3 滞后损失 147
28.4 齿隙 147

二十九、 通过外力反驱拖动关节的说明 147

附录 1：多圈供电电池相关安全注意事项 147

附录 2：错误代码及处理 148

附录 3：eRob 系列质量、质心与惯性参数 148

附录 4：eTunerII 操作指引 154

A4.1 使用范围与功能索引 154
A4.2 安装与连接 155
A4.3 参数编辑、保存与常用入口 155
A4.4 释放和启用刹车 156
A4.5 位置反馈与编码器操作 156
A4.6 关节试运行 157
A4.7 PID 整定与波形采集 159
A4.8 STO 配置 161
A4.9 脉冲加方向控制 161
A4.10 CAN ID 与连接排查 162
A4.11 自检与故障取证 162
A4.12 恢复出厂参数与参数文件 164

一、 eRob 简介

1.1 关于本手册

本手册介绍零差云控（深圳）科技股份有限公司研发、设计、生产的 eRob 系列机器人关节使用参数、安全范围、使用方法、注意事项等信息，请务必仔细阅读后再上手操作。

1.2 eRob 产品简介

eRob 系列是零差云控在多年为客户服务经验前提下，以自有的伺服驱动器和绝对值编码器基础上进行延伸，推出的标准化关节模组产品，让机器人开发更简单、更快捷、更安全。

eRob 系列有 eRob70、eRob80、eRob90、eRob110、eRob142、eRob170 等外径系列，设计精巧、结构紧凑，小巧体积中包含伺服驱动器、电机端绝对值编码器、输出端绝对值编码器、无框力矩电机、制动器、精密谐波减速机等主要部件（如图1-1），为客户省去上百种机械电子器件选型、设计、采购、组装的人力和时间成本。

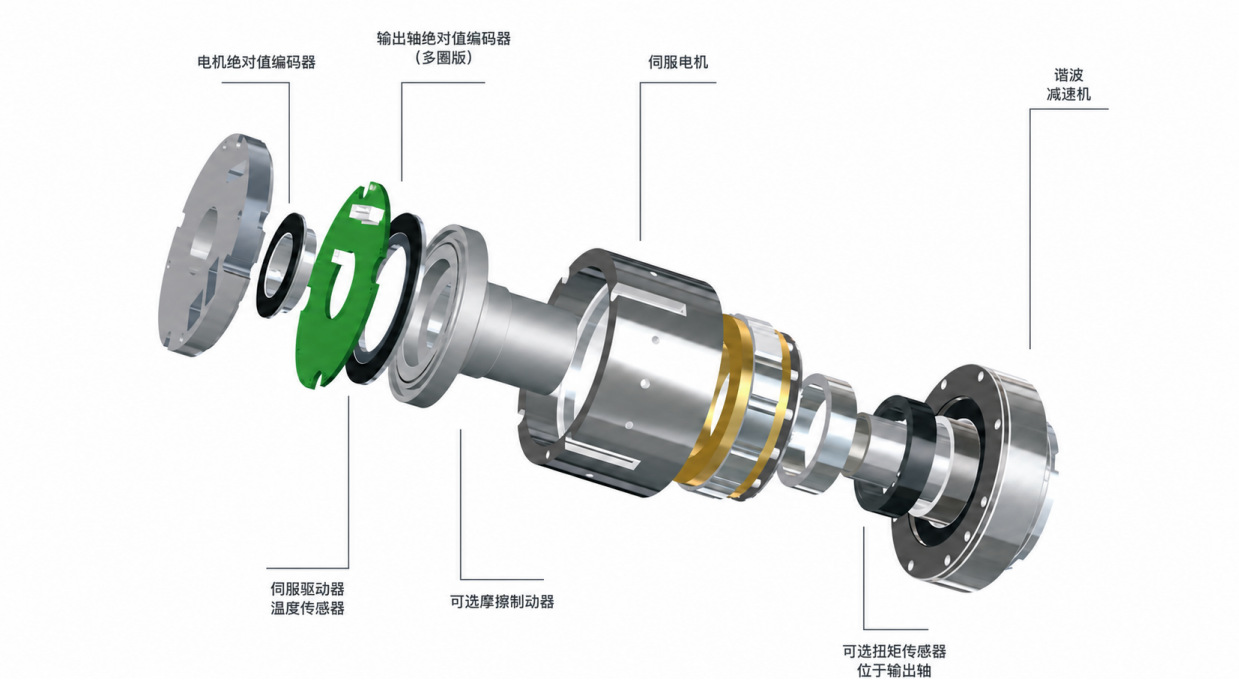


图 1-1: eRob 机器人关节模组爆炸图

二、 关节基本参数

图 2-1 以型号 eRob70F100I-BM-18ENLDC[V4] 为例，说明前缀、十一个配置位和尾缀；图中的分格和空格仅用于识读，不属于型号。型号中有两处连字符，分别位于第 4 位与第 5 位之间、第 6 位与第 7 位之间。各位含义见表 2-1。

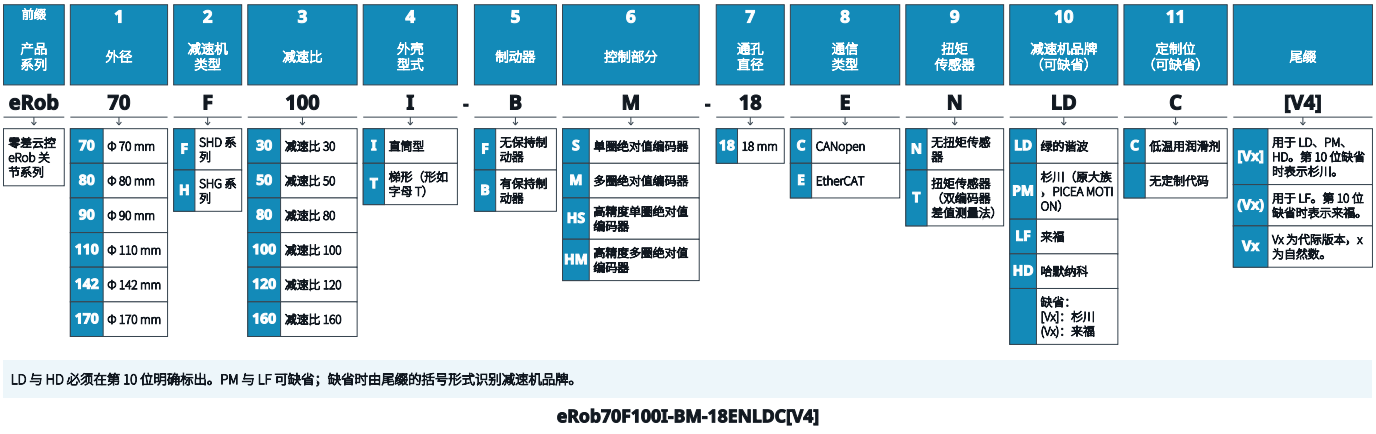


图 2-1 型号构成

表 2-1 型号配置位定义

位序	位名	取值与含义
前缀	产品系列	eRob：本公司关节产品命名的固定前缀。
1	外径	70/80/90/110/142/170：I 型关节外部最大处直径，单位为 mm；T 型关节的实测最大处直径大于该取值，具体数值见对应图纸。
2	减速机类型	F：使用 SHD 系列减速机，轴向长度更短、重量更轻；H：使用 SHG 系列减速机，具有更大的转矩和承载能力。
3	减速比	30/50/80/100/120/160。减速比由柔轮和刚轮的齿数决定；输出端转过一圈时，电机端转过减速比 +1 圈。具体减速机只提供其中部分档位。
4	外壳型式	I：直筒型；T：梯形，形如字母 T。两者除外壳型式外，其他参数相同；实际尺寸以图纸为准。
5	制动器	B（Brake）：有保持制动器；F（Free Motion）：无保持制动器。保持制动器用于静态保持，动态制动限制及急停注意事项见第 7 章。
6	控制部分	S：单圈绝对值编码器；M：采用后备电池供电多圈计数器的多圈绝对值编码器；HS/HM：相应的高精度单圈/多圈绝对值编码器。
7	通孔直径	18：关节中间的通孔直径，单位为 mm。
8	通信类型	E：EtherCAT；C：CANopen。两种通信类型均支持 RS485 接口的 Modbus 协议。
9	扭矩传感器	N：无扭矩传感器；T：双编码器差值测量法的扭矩传感器。相关内容见第 23 章。
10	减速机品牌	LD：绿的谐波；PM：杉川（原大族，PICEA MOTION）；LF：来福；HD：哈默纳科。LD/HD 必须在本位明确标出。PM/LF 可缺省；缺省时由尾缀的括号形式识别减速机品牌，见尾缀行。
11	定制位	缺省：为空；C：使用低温用润滑剂。具体说明见《eRob 关节高低温可靠性测试报告》https://www.zeroerr.cn/Certification/95.html。
尾缀	减速机品牌与代际版本	[Vx]：用于 LD/PM/HD；第 10 位缺省时，方括号表示杉川。(Vx)：用于 LF；第 10 位缺省时，圆括号表示来福。Vx 为代际版本，x 为自然数。

表 2-1A 支持的配置组合

控制部分位	扭矩传感器位	配置说明
HS/HM	T	高精度配置，带扭矩传感器。
S/M	N	普通精度配置，不带扭矩传感器。

模组采用电机端 17 位、输出端 19 位双绝对值编码器及全闭环控制架构。HS/HM 高精度配置的重复/绝对定位精度为 ±7/±15 角秒；S/M 普通精度配置的重复/绝对定位精度为 ±10/±25 角秒。关于精度的具体说明，详见https://www.zeroerr.cn/Certification/92.html。

本手册参数表按系列及配置列示。订货、查询图纸或联系技术支持时，请提供完整型号；已交付产品请同时提供铭牌序列号。

eRob 系列关节模组规格参数如表 2-2 至表 2-4。

参数适用说明

请按产品系列、减速比、配置、代际版本及表中标明的结构版本代号选择对应参数。外形尺寸及安装接口以该产品的 2D 安装图为准；含保持制动器与不含保持制动器的质量和惯性参数分别选取。精度参数按对应编码器配置选取。

表 2-2 eRob 关节参数表（A，eRob70F）

规格族代号		eRob70F (V3)		
谐波减速机型号-速比		14-50 Ultra-flat	14-80 Ultra-flat	14-100 Ultra-flat
启停峰值扭矩 (Nm)		12	16	19
平均负载转矩容许最大值 (Nm)		4.8	7.7	
额定扭矩 (Nm)		3.7	5.4	
瞬间容许最大扭矩 (Nm)		23	35	
输出端峰值转速 (RPM)		60	37.5	30
电机功率 (W)		75		
供电电压 (V)		48V（±10%）请务必详细阅读《为什么不能用普通的开关电源作为模组的供电?》 以及本手册第三章《eRob 输入电源说明》		
减速机输出端惯量 (g·mm²)		54030		
减速机输出端质量 (kg)		0.13		
不含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	43656		
不含制动器	减速机输入端质量 (kg)	0.15		
不含制动器	外径 x 长度 (mm)	70x60.4		
不含制动器	总质量 (kg)	0.77		
含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	46885		
含制动器	减速机输入端质量 (kg)	0.16		
含制动器	外径 x 长度 (mm)	70x67.7		
含制动器	总质量 (kg)	0.83		
共同参数		通孔直径: 18mm, IP 等级: IP54, 制动器类型: 摩擦式阻尼制动器		
选装配置		通信方式：EtherCAT 或 CANopen，均支持通过 RS485 接口进行 Modbus-RTU 通信；输出端编码器分辨率 19Bit，重复/绝对定位精度 ±10/±25 角秒；		

表 2-2 eRob 关节参数表（A，eRob70F，续）

参数	eRob70F (V4)	
结构版本	V4 (MC2B.EX.XX)	
控制配置	HS/HM，带扭矩传感器	
通信方式	CANopen / EtherCAT	
减速比	50	100
启停峰值扭矩 (N • m)	12	19
平均负载转矩容许最大值 (N • m)	4.8	7.7
额定扭矩 (N • m)	3.7	5.4
瞬间容许最大扭矩 (N • m)	23	35
输出端峰值转速 (r/min)	60	30
测试条件	额定扭矩对应输入转速 2000 r/min；输出端峰值转速对应 48 V、额定扭矩条件。	
制动器配置	**不含制动器**	**含制动器**
外径 × 本体长度 (mm)	70×51	70×60
含接口突出总长 (mm)	54.4	63.4
整机质量 (kg)	0.63	0.74
减速机输出端质量 (kg)	0.12	0.12
减速机输出端惯量 (g·mm^2)	53145	53145
减速机输入端质量 (kg)	0.09	0.11
减速机输入端惯量 / 转子惯量 (g·mm^2)	23508	26896
共同参数	供电 48 V（±10%），电机功率 75 W，通孔直径 18 mm，防护等级 IP54，输出端编码器分辨率 19 位；HS/HM 重复 / 绝对定位精度为 ±7 / ±15 角秒。整机质心和惯性张量见附录 3。	

表 2-2 eRob 关节参数表（A，eRob70H，续）

规格族代号		eRob70H			
谐波减速机型号-速比		14-50	14-80	14-100	14-120
启停峰值扭矩 (Nm)		23	30	36	
平均负载转矩容许最大值 (Nm)		9	14		
额定扭矩 (Nm)		7	10		
瞬间容许最大扭矩 (Nm)		46	61	70	
输出端峰值转速 (RPM)		60	37.5	30	25
电机功率 (W)		100			
供电电压 (V)		48V（±10%）请务必详细阅读《为什么不能用普通的开关电源作为模组的供电?》 以及本手册第三章《eRob 输入电源说明》			
减速机输出端惯量 (g·mm²)		69717			
减速机输出端质量 (kg)		0.17			
不含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	47767			
不含制动器	减速机输入端质量 (kg)	0.18			
不含制动器	外径 x 长度 (mm)	70x75.3			
不含制动器	总质量 (kg)	0.87			
含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	50996			
含制动器	减速机输入端质量 (kg)	0.19			
含制动器	外径 x 长度 (mm)	70x75.3			
含制动器	总质量 (kg)	0.93			
共同参数		通孔直径: 18mm, IP 等级: IP54, 制动器类型: 摩擦式阻尼制动器			
选装配置		通信方式：EtherCAT 或 CANopen，均支持通过 RS485 接口进行 Modbus-RTU 通信；输出端编码器分辨率 19Bit，重复/绝对定位精度 ±10/±25 角秒；			

表 2-2 eRob 关节参数表（A，eRob80H，续）

规格族代号		eRob80H			
谐波减速机型号-速比		17-50	17-80	17-100	17-120
启停峰值扭矩 (Nm)		44	56	70	
平均负载转矩容许最大值 (Nm)		34	35	51	
额定扭矩 (Nm)		21	29	31	
瞬间容许最大扭矩 (Nm)		91	113	143	112
输出端峰值转速 (RPM)		60	37.5	30	25
电机功率 (W)		146			
供电电压 (V)		48V（±10%）请务必详细阅读《为什么不能用普通的开关电源作为模组的供电?》 以及本手册第三章《eRob 输入电源说明》			
减速机输出端惯量 (g·mm²)		150085			
减速机输出端质量 (kg)		0.25			
不含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	67408			
不含制动器	减速机输入端质量 (kg)	0.26			
不含制动器	外径 x 长度 (mm)	80x84.2			
不含制动器	总质量 (kg)	1.19			
含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	70637			
含制动器	减速机输入端质量 (kg)	0.27			
含制动器	外径 x 长度 (mm)	80x84.2			
含制动器	总质量 (kg)	1.25			
共同参数		通孔直径: 18mm, IP 等级: IP54, 制动器类型: 摩擦式阻尼制动器			
选装配置		通信方式：EtherCAT 或 CANopen，均支持通过 RS485 接口进行 Modbus-RTU 通信；输出端编码器分辨率 19Bit，重复/绝对定位精度 ±10/±25 角秒；			

表 2-2 eRob 关节参数表（A，eRob80F，续）

规格族代号		eRob80F	
谐波减速机型号-速比		17-50	17-100
启停峰值扭矩 (Nm)		23	37
平均负载转矩容许最大值 (Nm)		18	27
额定扭矩 (Nm)		11	16
瞬间容许最大扭矩 (Nm)		48	71
输出端峰值转速 (RPM)		60	30
电机功率 (W)		126	
供电电压 (V)		48V（±10%）请务必详细阅读《为什么不能用普通的开关电源作为模组的供电?》 以及本手册第三章《eRob 输入电源说明》	
减速机输出端惯量 (g·mm²)		107809	
减速机输出端质量 (kg)		0.172	
不含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	29818	
不含制动器	减速机输入端质量 (kg)	0.129	
不含制动器	外径 x 长度 (mm)	80x57.5	
不含制动器	总质量 (kg)	0.89	
含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	31399	
含制动器	减速机输入端质量 (kg)	0.142	
含制动器	外径 x 长度 (mm)	80x57.5	
含制动器	总质量 (kg)	0.95	
共同参数		通孔直径: 18mm, IP 等级: IP54, 制动器类型: 摩擦式阻尼制动器	
选装配置		通信方式：EtherCAT 或 CANopen，均支持通过 RS485 接口进行 Modbus-RTU 通信；输出端编码器分辨率 19Bit，重复/绝对定位精度 ±10/±25 角秒；	

表 2-3 eRob 关节参数表（B，eRob90H）

规格族代号		eRob90H			
谐波减速机型号-速比		20-50	20-80	20-100	20-120
启停峰值扭矩 (Nm)		73	96	107	113
平均负载转矩容许最大值 (Nm)		44	61	64	
额定扭矩 (Nm)		33	44	52	
瞬间容许最大扭矩 (Nm)		127	165	191	
输出端峰值转速 (RPM)		60	37.5	30	25
电机功率 (W)		300			
供电电压 (V)		48V（±10%）请务必详细阅读《为什么不能用普通的开关电源作为模组的供电?》 以及本手册第三章《eRob 输入电源说明》			
减速机输出端惯量 (g·mm²)		297466			
减速机输出端质量 (kg)		0.36			
不含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	139057			
不含制动器	减速机输入端质量 (kg)	0.41			
不含制动器	外径 x 长度 (mm)	90x98.9			
不含制动器	总质量 (kg)	1.75			
含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	147025			
含制动器	减速机输入端质量 (kg)	0.43			
含制动器	外径 x 长度 (mm)	90x98.9			
含制动器	总质量 (kg)	1.87			
共同参数		通孔直径: 18mm, IP 等级: IP54, 制动器类型: 摩擦式阻尼制动器			
选装配置		通信方式：EtherCAT 或 CANopen，均支持通过 RS485 接口进行 Modbus-RTU 通信；输出端编码器分辨率均为 19Bit；S/M 重复/绝对定位精度 ±10/±25 角秒；HS/HM 重复/绝对定位精度 ±7/±15 角秒			

表 2-3 eRob 关节参数表（B，eRob110H V4，续）

规格族/结构码		eRob110H V4				
谐波减速机型号-速比		25-50	25-80	25-100	25-120	25-160
启停峰值扭矩 (Nm)		127	178	204	217	229
平均负载转矩容许最大值 (Nm)		72	113	140		
额定扭矩 (Nm)		51	82	87		
瞬间容许最大扭矩 (Nm)		242	332	369	395	408
输出端峰值转速 (RPM)		60	37.5	30	25	18.75
电机功率 (W)		750				
供电电压 (V)		48V（±10%）请务必详细阅读《为什么不能用普通的开关电源作为模组的供电?》 以及本手册第三章《eRob 输入电源说明》				
减速机输出端惯量 (g·mm²)		715482				
减速机输出端质量 (kg)		0.58				
不含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	277434				
不含制动器	减速机输入端质量 (kg)	0.7				
不含制动器	外径 x 长度 (mm)	110x115.2				
不含制动器	总质量 (kg)	2.88				
含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	285402				
含制动器	减速机输入端质量 (kg)	0.72				
含制动器	外径 x 长度 (mm)	110x115.2				
含制动器	总质量 (kg)	3.06				
共同参数		通孔直径: 18mm, IP 等级: IP54, 制动器类型: 摩擦式阻尼制动器				
选装配置		通信方式：EtherCAT 或 CANopen，均支持通过 RS485 接口进行 Modbus-RTU 通信；输出端编码器分辨率均为 19Bit；S/M 重复/绝对定位精度 ±10/±25 角秒；HS/HM 重复/绝对定位精度 ±7/±15 角秒				

表 2-3 eRob110H 关节参数表（B，续）

规格族/结构码		eRob110H V6					eRob110H HD[V6]
谐波减速机型号-速比		25-50	25-80	25-100	25-120	25-160	25-120
启停峰值扭矩 (Nm)		127	178	204	217	229	217
平均负载转矩容许最大值 (Nm)		72	113	140			140
额定扭矩 (Nm)		51	82	87			87
瞬间容许最大扭矩 (Nm)		242	332	369	395	408	395
输出端峰值转速 (RPM)		60	37.5	30	25	18.75	25
电机功率 (W)		723					
供电电压 (V)		48V（±10%）请务必详细阅读《为什么不能用普通的开关电源作为模组的供电?》 以及本手册第三章《eRob 输入电源说明》					
减速机输出端惯量 (g·mm²)		717286					
减速机输出端质量 (kg)		0.56					
不含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	308632					
不含制动器	减速机输入端质量 (kg)	0.53					
不含制动器	外径 x 长度 (mm)	110x80.2					
不含制动器	总质量 (kg)	2.57					
含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	316600					
含制动器	减速机输入端质量 (kg)	0.55					
含制动器	外径 x 长度 (mm)	110x80.2					
含制动器	总质量 (kg)	2.68					
HD 配置		控制部分：HS/HM；扭矩传感器：T					
共同参数		通孔直径: 18mm, IP 等级: IP54, 制动器类型: 摩擦式阻尼制动器					
选装配置		通信方式：EtherCAT 或 CANopen，均支持通过 RS485 接口进行 Modbus-RTU 通信；输出端编码器分辨率均为 19Bit；S/M 重复/绝对定位精度 ±10/±25 角秒；HS/HM 重复/绝对定位精度 ±7/±15 角秒					

表 2-4 eRob 关节参数表（C，eRob142H）

规格族代号		eRob142H				
谐波减速机型号-速比		32-50	32-80	32-100	32-120	32-160
启停峰值扭矩 (Nm)		281	395	433	459	484
平均负载转矩容许最大值 (Nm)		140	217	281		
额定扭矩 (Nm)		99	153	178		
瞬间容许最大扭矩 (Nm)		497	738	841	892	
输出端峰值转速 (RPM)		40	25	20	16.7	12.5
电机功率 (W)		1000				
供电电压 (V)		48V（±10%）请务必详细阅读《为什么不能用普通的开关电源作为模组的供电?》 以及本手册第三章《eRob 输入电源说明》				
减速机输出端惯量 (g·mm²)		2589596				
减速机输出端质量 (kg)		1.21				
不含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	1244894				
不含制动器	减速机输入端质量 (kg)	1.33				
不含制动器	外径 x 长度 (mm)	142x133.9				
不含制动器	总质量 (kg)	6.49				
含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	1273287				
含制动器	减速机输入端质量 (kg)	1.37				
含制动器	外径 x 长度 (mm)	142x133.9				
含制动器	总质量 (kg)	6.7				
共同参数		通孔直径: 18mm, IP 等级: IP54, 制动器类型: 摩擦式阻尼制动器				
选装配置		通信方式：EtherCAT 或 CANopen，均支持通过 RS485 接口进行 Modbus-RTU 通信；输出端编码器分辨率均为 19Bit；S/M 重复/绝对定位精度 ±10/±25 角秒；HS/HM 重复/绝对定位精度 ±7/±15 角秒				

表 2-4 eRob 关节参数表（C，eRob170H，续）

规格族代号		eRob170H				
谐波减速机型号-速比		40-50	40-80	40-100	40-120	40-160
启停峰值扭矩 (Nm)		402	519	568	617	647
平均负载转矩容许最大值 (Nm)		196	284	372	451	
额定扭矩 (Nm)		137	206	265	294	
瞬间容许最大扭矩 (Nm)		686	980	1080	1180	
输出端峰值转速 (RPM)		40	25	20	16.7	12.5
电机功率 (W)		1000				
供电电压 (V)		48V（±10%）请务必详细阅读《为什么不能用普通的开关电源作为模组的供电?》 以及本手册第三章《eRob 输入电源说明》				
减速机输出端惯量 (g·mm²)		6679752				
减速机输出端质量 (kg)		2.02				
不含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	1517148				
不含制动器	减速机输入端质量 (kg)	1.66				
不含制动器	外径 x 长度 (mm)	170x144.9				
不含制动器	总质量 (kg)	9.29				
含制动器	减速机输入端惯量 (g·mm²)	1545541				
含制动器	减速机输入端质量 (kg)	1.7				
含制动器	外径 x 长度 (mm)	170x144.9				
含制动器	总质量 (kg)	9.5				
共同参数		通孔直径: 18mm, IP 等级: IP54, 制动器类型: 摩擦式阻尼制动器				
选装配置		通信方式：EtherCAT 或 CANopen，均支持通过 RS485 接口进行 Modbus-RTU 通信；输出端编码器分辨率均为 19Bit；S/M 重复/绝对定位精度 ±10/±25 角秒；HS/HM 重复/绝对定位精度 ±7/±15 角秒				

启停峰值扭矩、平均负载转矩容许最大值、额定扭矩、瞬间容许最大扭矩、输出端峰值转速为减速机参数，即输出端（负载端）参数，电机功率、转子惯量为电机参数，即输入端参数。2D 图纸、3D 模型及更多产品资料可从零差云控官网下载。https://www.zeroerr.cn

额定转矩

表示输入转速为 2000r/min 时的容许连续负载转矩。

起动停止时的容许峰值转矩（参照图 2-2）

起动停止时，根据负载转动惯量，会有大于正常转矩的负载作用到关节模组。关节参数表的数值是此时峰值转矩的容许值。

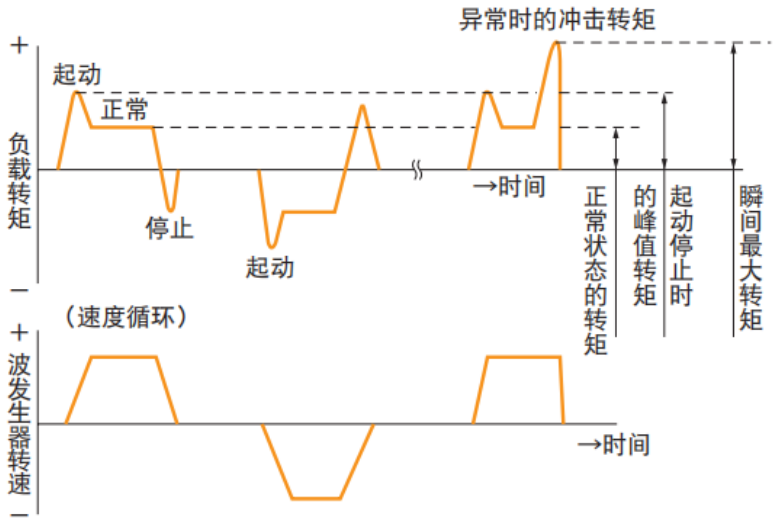


图 2-2 负载转矩模式示例

平均负载转矩的容许最大值

负载转矩、输入转速变化时，需计算出负载转矩的平均值。关节参数表的数值表示的是此时平均负载转矩的容许值。平均负载转矩超过关节参数表数值时，会因发热而造成润滑剂早期劣化及齿轮磨耗异常，请充分注意。

瞬间容许最大转矩（参照图 2-2）

除通常负载转矩、起动停止时的负载转矩以外，还存在来自外部、无法预期的冲击转矩。冲击转矩的最大值不能超过关节参数表的瞬间容许最大扭矩。

输出端峰值转速

输出端峰值转速为减速机输出端（负载端）最大转速，此时对应的减速机输入端电机转子的额定转速（参考本手册第 26.2.2 节“电机参数”）。关节模组输出扭矩和转速区间参考本手册第 26.3 节“关节模组输出扭矩-转速曲线”。

关于 eRob 关节模组输出端编码器有无多圈记忆功能说明：

多圈（有多圈记忆功能）模组需要安装电池，并且可断电保存多圈，单圈（无多圈记忆功能）模组不具备此功能。识别单圈与多圈可以在 eTuner 安装调试软件“编码器设置”界面中查看负载端编码器是否勾选“使用多圈绝对位置”。单圈与多圈的硬件以及软件都有差异。

软件适用：使用 eTunerII 时，在“设备参数 → 编码器 → 负载端”查看“使用多圈绝对位置” ，该项为只读配置；参见附录 4（A4.3）。

eRob 关节模组支持的通信类型说明:

（1）通信类型位为 E 的 EtherCAT 配置支持：EtherCAT、自定义 CAN、Modbus（RTU/ASCII）。

（2）通信类型位为 C 的 CANopen 配置支持：CANopen、自定义 CAN、Modbus（RTU/ASCII）。

其中自定义 CAN 和 Modbus-ASCII 为我司自定义通信协议，我司 eTuner 及 eTunerII 安装调试软件与关节的通信方式即为自定义 CAN。EtherCAT、CANopen 遵循标准 CiA402 控制协议，但两者通信物理层接口不一样。

2.1 质量、质心（重心）与惯性参数说明

本节说明 eRob 各系列关节模组的质量、质心坐标及惯性张量参数。相关参数主要用于机器人整机动力学建模、负载校核、运动仿真及控制参数设计。使用参数时，应按规格族、结构版本代号和保持制动器状态选择对应配置；坐标与惯性定义及各规格族完整参数见《附录 3：eRob 系列质量、质心与惯性参数》。

三、 eRob 电气特性与输入电源说明

软件适用：本章介绍 eTuner 安全电源界面的操作，并提供相应界面图；使用 eTunerII 时，参见附录 4（A4.3）。供电条件与电压示例按本章适用范围执行；输入数值前核对 V 与 mV 单位。

3.1 电源电压和电流额定值

电源使用 48VDC 供电（出厂设定最小允许母线电压为 44V，最大允许母线电压为 55V），驱动器在检测到超过 55V 时会触发过电压故障，在检测到低于 44V 时出现电压过低报警。

单关节电流额定值如下表 3-1 列出。

表 3-1 各型号关节额定电流

• 型号	• 电压（单位：V）	• 电流 (单位：A)
eRob70F	48 +/-10%	1.9
eRob70H	48 +/-10%	2.55
eRob80F	48 +/-10%	3.5
eRob80H	48 +/-10%	4.1
eRob90H	48 +/-10%	6.7
eRob110H	48 +/-10%	18.6
eRob142H	48 +/-10%	26
eRob170H	48 +/-10%	45

3.2 eRob 能容许的最高输入电压

关节电源接口最大承受电压为 DC60V，输入电压超过 60V 易导致驱动器故障。关节异常供电的输入电压波形如图 3-1 所示。

注意当使用开关电源或蓄电池（电源输出接空气开关再连接到关节电源接口）给关节供电时，开关开启上电瞬间可能存在过压冲击（＞ 60V 的情况），此种供电方式需在空气开关后、关节电源输入前并联一个电解电容（参考规格：1000uF，100V），以抑制上电瞬间输入电压的过冲现象，如图 3-2 所示，并联电解电容后关节正常供电的输入波形图如图 3-3 所示。



图 3-1 关节异常供电的输入电压波形（Max=130V ＞ 60V）

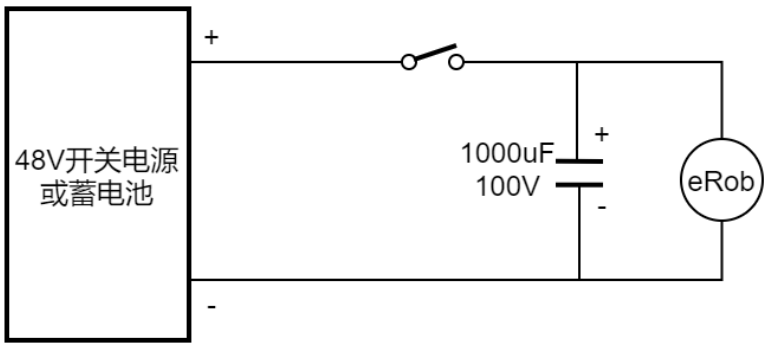


图 3-2 电源并联电解电容拓扑图

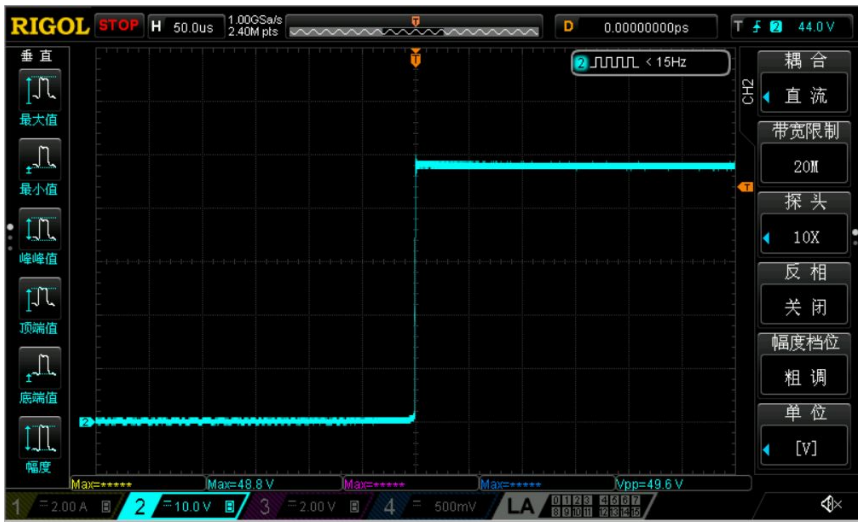


图 3-3 关节正常供电的输入电压波形（Max=48.8V<60V）

使用电池（常见锂电池或其他种类蓄电池）供电时不需要考虑反电动势的影响，因为再生制动时产生的反电动势直接会对电池进行充电，对关节模组没有任何影响，因此不需要处理，但需修改关节的最高容许与最低容许电压设定（位于 eTuner 安装调试软件安全电源界面），修改方法如下：

当使用电池电压高于 48V 电压时，例如使用 DC52V 电池供电，则修改最大允许母线电压设定为 57.2V（52V×110%，百分比可根据实际测试情况调整，但不建议设定超过 60V），修改最小允许母线电压设定为 46.8V（52V×90%，百分比可根据实际测试情况调整），修改完后应用并保存，如图 3-4 所示。当检测到电压高于最大允许母线电压设定的 57.2V 时，将无法使能 eRob 关节，会报错（母线电压过压）停机，如图 3-5 所示（检测当前电压为 57.802V）。



图 3-4 使用 DC52V 电池供电电源设定举例

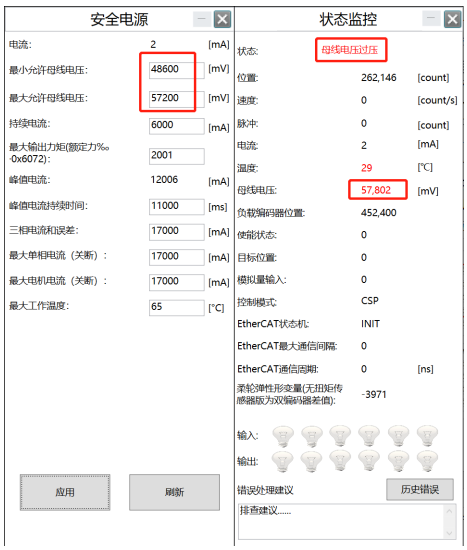


图 3-5 母线电压过压

3.3 eRob 能容许的最低输入电压

带制动器的 eRob 关节能容许最低输入电压如下表 3-2 列出。

表 3-2 带制动器的关节容许最低输入电压

• 型号	• 电压（单位：V）
eRob70F	24
eRob70H	24
eRob80H	24
eRob80F	24
eRob90H	48
eRob110H	48
eRob142H	48
eRob170H	48

不带制动器的 eRob 关节能容许最低输入电压为 19.5V。

当输入电压低于容许最低输入电压时，eRob 关节将无法正常工作。

eRob 关节实际能达到的最高转速与输入电压的关系如下计算公式：

$$\text{实际最高转速} = \text{输入电压}48V\text{下最高转速} \times \frac{\text{当前输入电压}}{48V}$$

当输入电压低于额定电压时将会降低实际最高转速，但不会降低转矩性能。

由于出厂设定最小允许母线电压为 44V，当使用低于 44V 的电压时，需手工修改最小允许母线电压设定（位于 eTuner 安装调试软件安全电源界面）。例如使用 DC24V 供电，则修改最小允许母线电压设定为 21.6V（24V×90%，百分比可根据实际测试情况调整），修改最大允许母线电压设定为 26.4V（24V×110%，百分比可根据实际测试情况调整），修改完后应用并保存，如图 3-6 所示。当检测到电压低于最小允许母线电压设定的 21.6V 时，将无法使能 eRob 关节，会报错（母线电压欠压）停机，如图 3-7 所示（检测当前电压为 20.611V）。

注：eRob 关节内部并没有 eDriver 的再生制动电路，因此再生制动相关参数对 eRob 没有影响。



图 3-6 使用 DC24V 供电电源设定举例

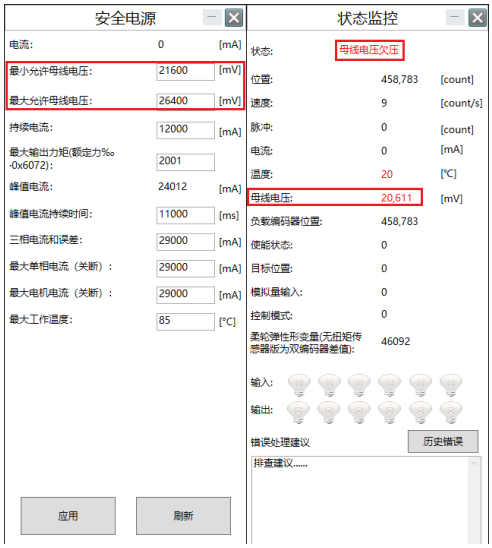


图 3-7 母线电压欠压

四、 关节正转方向

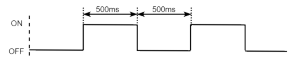
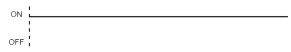
面对减速机输出端，关节正转方向如图 4-1，为逆时针旋转，此方向不可修改，关节旋转方向由目标指令的方向决定，目标指令由控制器端修改。



图 4-1 关节正转方向

五、 电气接口和指示灯说明

5.1 指示灯功能

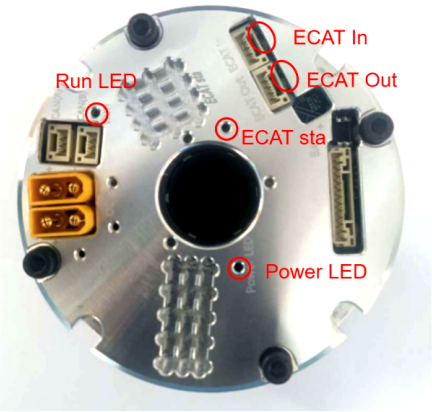
LED 标识	LED 说明	LED 状态	LED 状态图
RUN_LED	系统运行指示	绿色闪烁	
POWER_LED	24V 电源状态指示。POWER_LED 反映 24V 电源状态，不代表母线输入电压等级；关节允许输入电压范围以第 3 章及第 6.1 节为准。	绿色常亮	

ECAT In 与 ECAT Out 指示灯

LED 标识	LED 说明	ECAT 通信连接状态	LED 状态	LED 状态图
ECAT In	EtherCAT In 用于连接上一级 eRob 从站 ECAT Out 或主站控制器	未连接通信线缆，EtherCAT（CoE）控制器也未启动	熄灭	
ECAT In	EtherCAT In 用于连接上一级 eRob 从站 ECAT Out 或主站控制器	已连接通信线缆，但未执行数据通信	绿色常亮	
ECAT In	EtherCAT In 用于连接上一级 eRob 从站 ECAT Out 或主站控制器	数据通信中	绿色快速闪烁	
ECAT Out	EtherCAT Out 用于连接下一级 eRob 从站 ECAT In	未连接通信线缆，EtherCAT（CoE）控制器也未启动	熄灭	
ECAT Out	EtherCAT Out 用于连接下一级 eRob 从站 ECAT In	已连接通信线缆，但未执行数据通信	绿色常亮	
ECAT Out	EtherCAT Out 用于连接下一级 eRob 从站 ECAT In	数据通信中	绿色快速闪烁	

ECAT sta 指示灯

LED 标识	LED 说明	EtherCAT 状态机状态	LED 状态	LED 状态图
ECAT sta	指示 EtherCAT 状态机的状态	INIT 状态	熄灭	
ECAT sta	指示 EtherCAT 状态机的状态	PREOP 状态	蓝色闪烁	
ECAT sta	指示 EtherCAT 状态机的状态	SAFEOP 状态	蓝色单闪	
ECAT sta	指示 EtherCAT 状态机的状态	OP 状态	蓝色常亮	
ECAT sta	指示 EtherCAT 状态机的状态	BOOT 状态	蓝色快速闪烁	

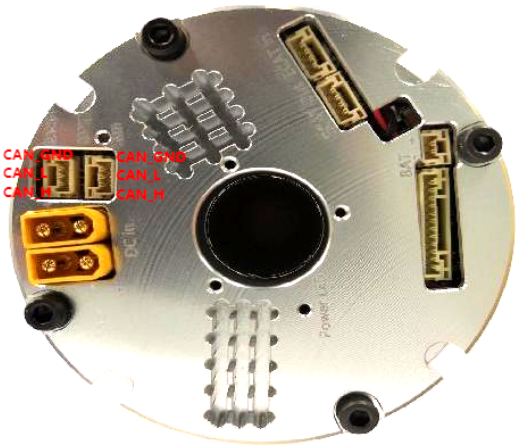


eRob 模组 LED 位置示意

注：EtherCAT 状态机相关内容请参考《eRob CANopen and EtherCAT 用户手册》第 4.3 节。

5.2 CAN 通信接口

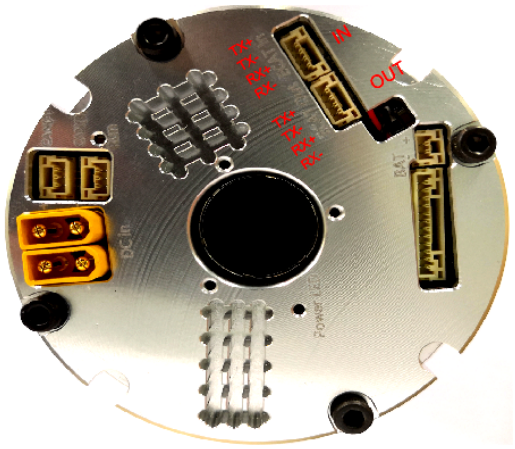
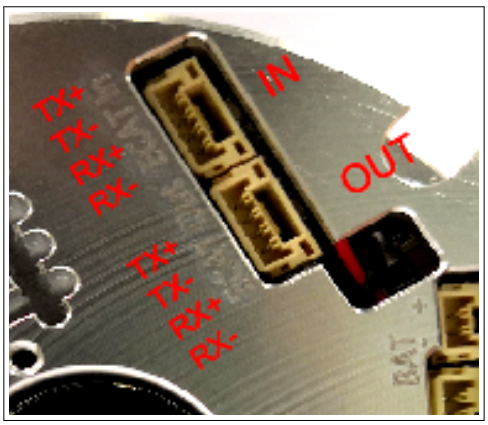
Pin	端子标记	端子功能
1	CAN_H	CAN 网络信号线
2	CAN_L	CAN 网络信号线
3	CAN_GND	CAN 网络地

引脚位置	接线端子
 引脚局部放大 	
接插件信息	配线端子信息
型号：BM03B-GHS-TBT	品牌：JST 胶壳型号：GHR-03V-S 端子型号：SSHL-002T-P0.2
规格：单排，间距 1.25mm 3Pin	规格：JST 单头端子，间距 1.25mm 3Pin

5.3 EtherCAT 通信接口

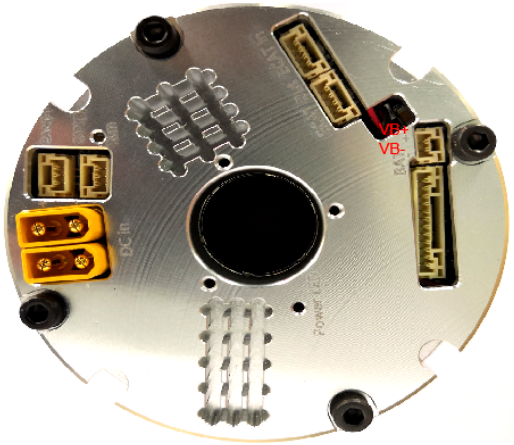
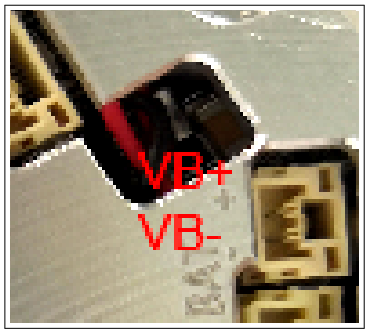
注：通信类型位为 C 的 CANopen 配置无此接口。

	ECAT In		ECAT Out	
Pin	端子标记	端子功能	端子标记	端子功能
1	ECAT In_RX-	EtherCAT 输入信号接收-	ECAT Out_RX-	EtherCAT 输出信号接收-
2	ECAT In_RX+	EtherCAT 输入信号接收 +	ECAT Out_RX+	EtherCAT 输出信号接收 +
3	ECAT In_TX-	EtherCAT 输入信号发送-	ECAT Out_TX-	EtherCAT 输出信号发送-
4	ECAT In_TX+	EtherCAT 输入信号发送 +	ECAT Out_TX+	EtherCAT 输出信号发送 +

引脚位置	接线端子
 **引脚局部放大** 	
接插件信息	配线端子信息
型号：BM04B-GHS-TBT	品牌：JST 胶壳型号：GHR-04V-S 端子型号：SSHL-002T-P0.2
规格：单排，间距 1.25mm 4Pin	规格：JST 单头端子，间距 1.25mm 4Pin

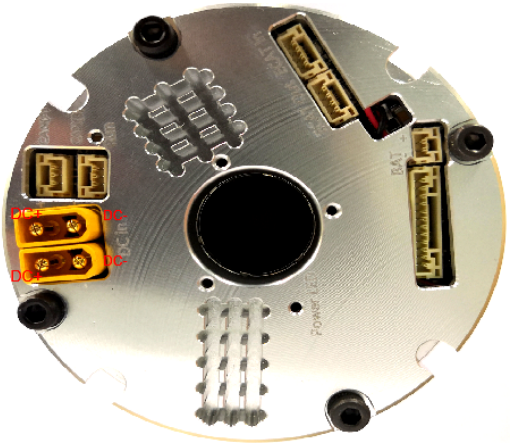
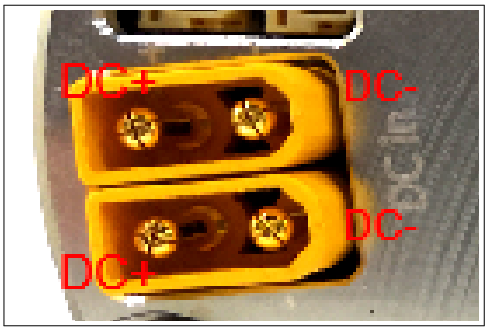
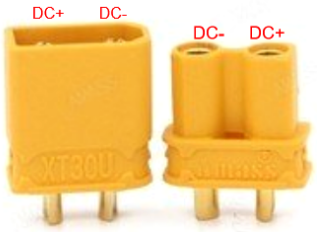
5.4 多圈供电电池接口

Pin	端子标记	端子功能
1	VB+	电池正极
2	VB-	电池负极

引脚位置	接线端子
 引脚局部放大 	
接插件信息	配线端子信息
型号：BM02B-GHS-TBT	品牌：JST 胶壳型号：GHR-02V-S 端子型号：SSHL-002T-P0.2
规格：单排，间距 1.25mm 2Pin	规格：JST 单头端子，间距 1.25mm 2Pin

注：控制部分位为 S/HS 的单圈配置无此接口，多圈供电电池说明详见本手册第十章《多圈供电电池说明》。

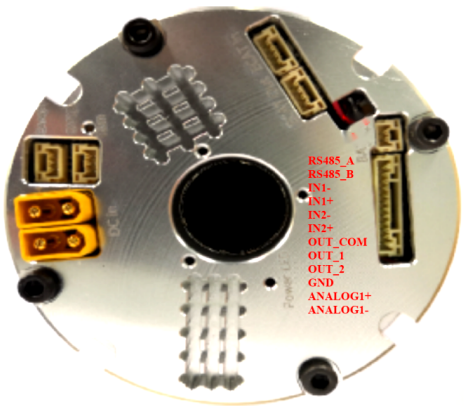
5.5 48V 供电电源接口

Pin	端子标记	端子功能
1	DC+	电源正极
2	DC-	电源负极
引脚位置		接线端子
 引脚局部放大 		
接插件信息		配线端子信息
型号：XT30UPB-M		品牌：艾迈斯 型号：XT30U-F
规格：直脚，脚间距 5mm，脚长 2mm 2Pin		规格：脚间距 5mm 2Pin

5.6 I/O 信号端子

Pin	端子标记	端子功能
1	RS485-A	RS485 通讯接口 DATA+
2	RS485-B	RS485 通讯接口 DATA-
3	IN1- / Pulse- /STOA-	数字输入 DIn1 /脉冲指令信号/安全转矩关断 A
4	IN1+/ Pulse+ /STOA+	数字输入 DIn1 /脉冲指令信号/安全转矩关断 A
5	IN2- /Dir- /STOB-	数字输入 DIn2 /脉冲指令方向/安全转矩关断 B
6	IN2+ /Dir+ /STOB+	数字输入 DIn2 /脉冲指令方向/安全转矩关断 B
7	OUT_COM	可编程输出信号地
8	OUT_1	可编程数字输出 1
9	OUT_2	可编程数字输出 2
10	GND	信号地
11	ANALOG1+	模拟信号输入 +（输入范围-10V ~ +10V）
12	ANALOG1-	模拟信号输入-（输入范围-10V ~ +10V）

I/O 信号端子位置与配线信息

引脚位置	接线端子
	
引脚局部放大 	
接插件信息	配线端子信息
型号：BM12B-GHS-TBT	品牌：JST 胶壳型号：GHR-12V-S 端子型号：SSHL-002T-P0.2
规格：单排，间距 1.25mm，立式 180°12Pin	规格：JST 单头端子，间距 1.25mm 12Pin

5.7 ESD 标准说明

表 5-1 列出 eRob 关节模组的 ESD 抗扰度参数。

表 5-1 eRob 关节模组 ESD 抗扰度

项目	参数
适用对象	eRob 关节模组
测试标准	IEC 61000-4-2
接触放电	±4kV；性能判据 A
空气放电	±8kV；性能判据 A

性能判据 A：施加干扰期间及结束后维持正常运行。

设备集成后的 ESD 性能还受接地、线缆和安装方式影响；请按本手册完成接线和接地，并验证整机系统的抗扰度。

5.8 线缆规格说明

eRob 关节各信号接口线缆选型规格详见表 5-2。

表 5-2 eRob 关节线缆规格

适用规格族	信号接口	线路数 * 接口数	适用线规格		接线预留高度（mm）
适用规格族	信号接口	线路数 * 接口数	截面积（mm²）	AWG#	接线预留高度（mm）
全系列	CAN 通信接口： CAN(A)、CAN(B)	3P*2	0.05~0.13	30~26	10
全系列	EtherCAT 通信接口： ECAT In、ECAT Out	4P*2	0.05~0.13	30~26	10
全系列	I/O 接口	12P*1	0.05~0.13	30~26	10
全系列	多圈供电电池接口：BAT	2P*1	0.05~0.13	30~26	10
eRob70	48V 供电电源接口： DC in	2P*2	0.5	20	15
eRob80	48V 供电电源接口： DC in	2P*2	0.75	19	15
eRob90	48V 供电电源接口： DC in	2P*2	1.0	18	15
eRob110	48V 供电电源接口： DC in	2P*2	1.25	17	15
eRob142	48V 供电电源接口： DC in	2P*2	1.5	16	15
eRob170	48V 供电电源接口： DC in	2P*2	1.5	16	15

5.9 连接器受力说明

1、JST 端子与线材连接拉力允许值如表 5-3，JST 端子与线材连接拉力测试示意图如图 5-1。

表 5-3 JST 端子与线材连接拉力允许值

线号	标准值（N）	实际值（N）
AWG #26	≥20	33~39
AWG #28	≥10	21~26
AWG #30	≥5	14~18

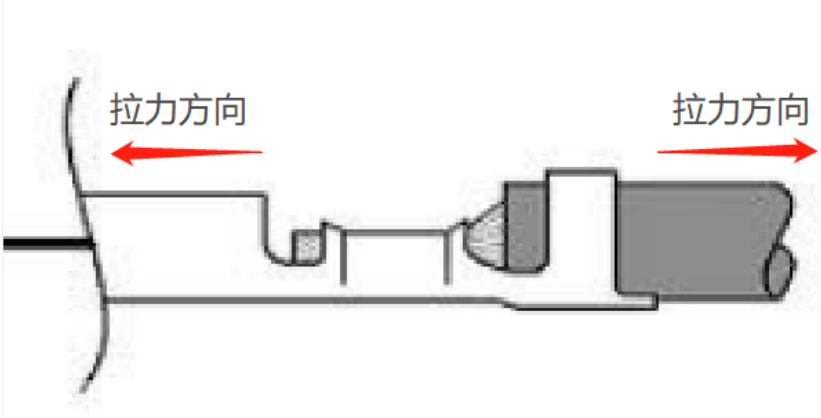


图 5-1 JST 端子与线材连接拉力测试示意图

2、连接器公母头连接卡扣允许拉力值如表 5-4，JST 连接器公母头连接卡扣拉力测试示意图如图 5-2。注意从接口处拔出接线端子时请勿直接拔出，需先扣动端子前端卡扣使卡扣松脱后再轻轻拔出即可，直接拔出端子易使卡扣断裂导致连接不稳定。

表 5-4 连接器公母头连接卡扣允许拉力值

针脚数	最低值（N）
2~3	10
4~6	12
7~9	15
10~15	20

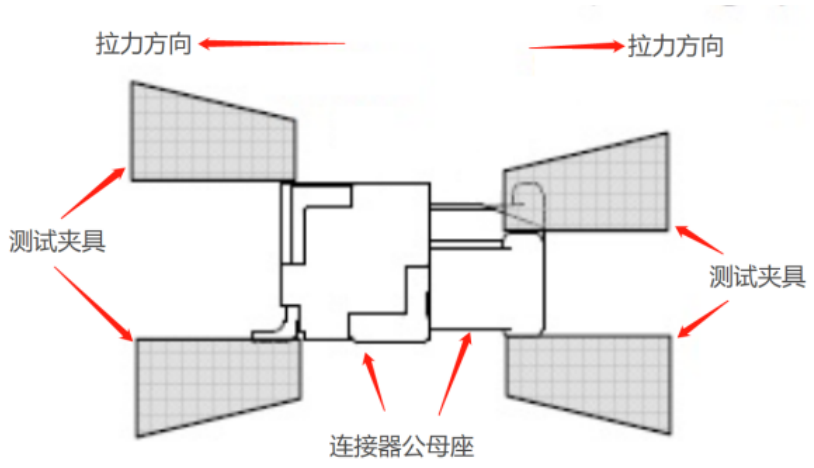


图 5-2 连接器公母头连接卡扣拉力测试示意图

3、四款连接器底座均是 GHS-TBT 类型，焊盘大小一样，因此，A 向能承受的推力不大于 3N，B 向能承受的推力不大于 4.2N。

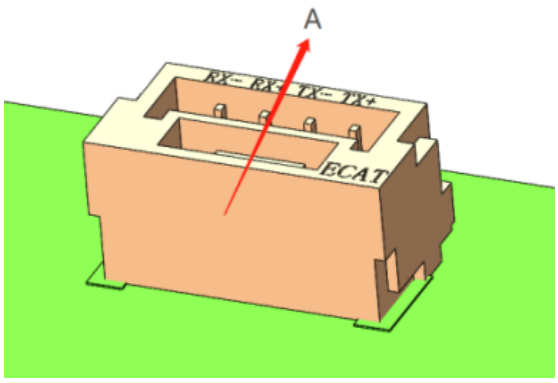


图 5-3 GHS-TBT 连接器底座 A 向受力

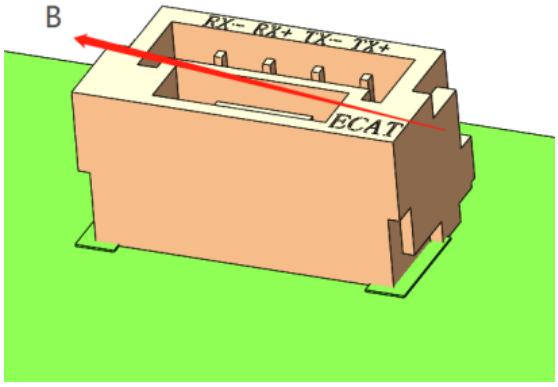


图 5-4 GHS-TBT 连接器底座 B 向受力

5.10 电源端子受力说明

在连接或拔出电源插头时，请在垂直方向对电源端子母头进行插拔（如图 5-5 所示）。电源端子公头能承受的垂直方向拉力极限约为 170N，能承受的水平方向弯矩极限约为 0.4N • m。任何时候请勿左右摇晃电源端子（如图 5-6 所示），晃动容易导致电源端子脱落。

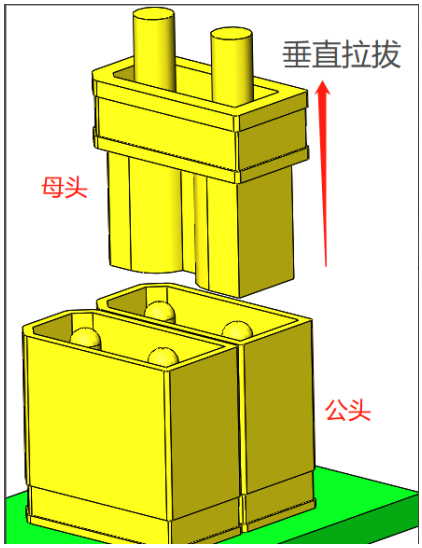


图 5-5 正确插拔方向为垂直方向

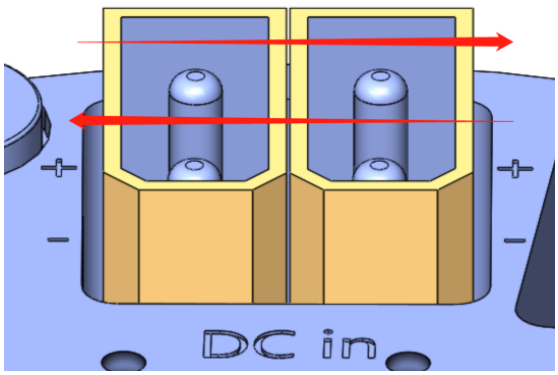


图 5-6 请勿左右摇晃电源端子

为避免关节模组在使用过程中受到振动、拉扯等因素造成电源端子松脱以及接触不良，连接电源端子后需要安装电源防松座，安装步骤为：1）电源端子母头焊接好电源线；2）插入电源端子母头（如图 5-7 所示）；3）安装电源防松座并锁紧固定（如图 5-8 所示）。

注：1、电源防松座锁紧螺钉规格为 M1.6*4，电源防松座可访问我司官网“机器人关节配件”网页购买。

2、因未安装电源防松座，关节模组在使用过程中受到振动、拉扯等因素造成电源端子松脱以及接触不良打火导致产品发生不可逆的损坏，将失去保修权利。

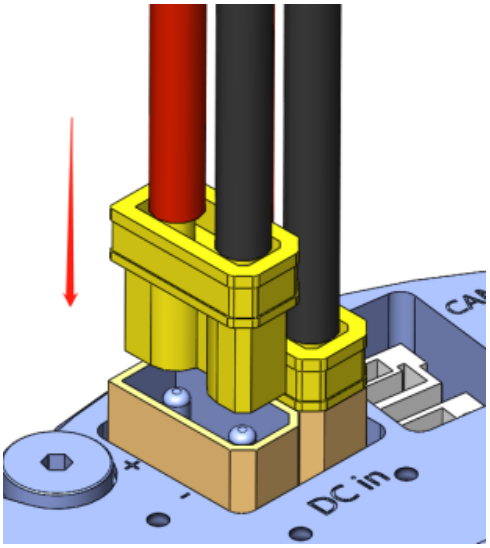


图 5-7 插入电源端子母头

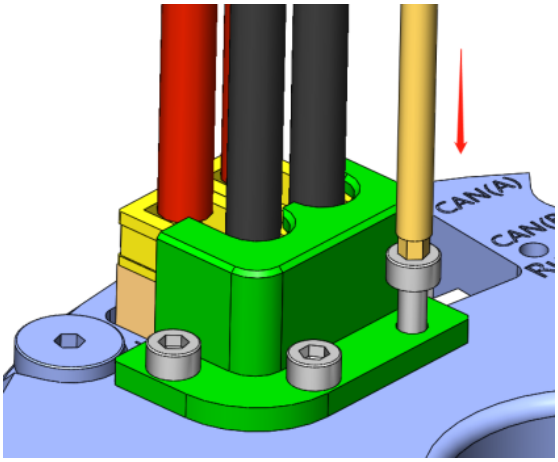


图 5-8 安装电源防松座

六、 多关节模组间线缆连接

多关节模组间线缆连接示意图如图 6-1。EtherCAT 组网部分采用直连方式，主站控制器 RJ45 网口连接第一个模组（slave1）ECAT In 口，第一个模组（slave1）ECAT Out 口连接下一个模组 ECAT In 口，依次类推。RJ45 网口对应关节模组网口引脚线序示意图如图 6-2 所示。CAN 组网部分线缆按端口定义连接即可，前后模组的 CAN 接口可无顺序连接。电源部分接线方式参考第 6.1 节说明，CAN/CANopen 通信接线图参考第 6.2 节，EtherCAT 通信接线图参考第 6.3 节。

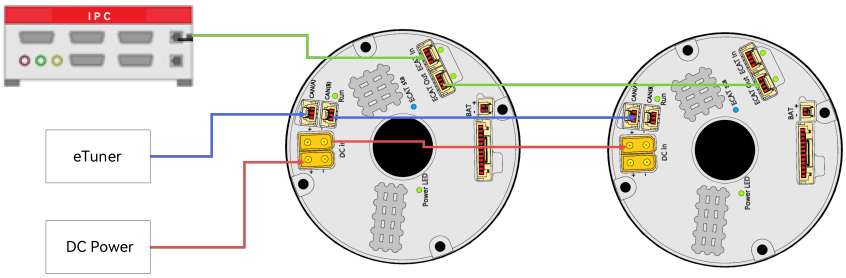


图 6-1 多关节模组间线缆连接示意图（图中 eTuner 的 CAN 连接亦适用于 eTunerII）

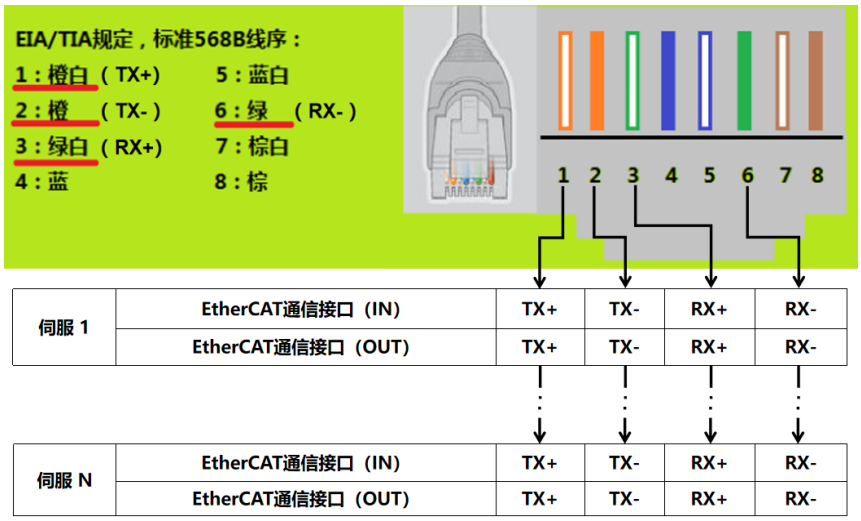


图 6-2 EtherCAT 组网连接方式

6.1 电源接线方式说明

本公司关节模组电源接线方式有三种：单轴直连、树型拓扑连接、链型拓扑连接，三种接线方式示意图如图 6-3 至图 6-5。按多轴协作应用场景中使用 48V 开关电源供电工作时，各轴压降的实际测试结果，三种接线方式推荐顺序为：1）单轴直连（最优，接线电阻最小，线损耗压降最小，适用于大功率模组）；2）树形拓扑连接（较优）；3）链型拓扑连接（较差，接线电阻较大，线损耗压降较大，适用于小功率模组）。

使用 eRob90/110/142/170 时，请使用单轴直连的方式，否则使用中易出现母线电压过低和过高的报错。

请勿串联接入其他用电设备，其他用电设备可能造成不可预知的压降或升压导致模组故障。

1、单轴直连

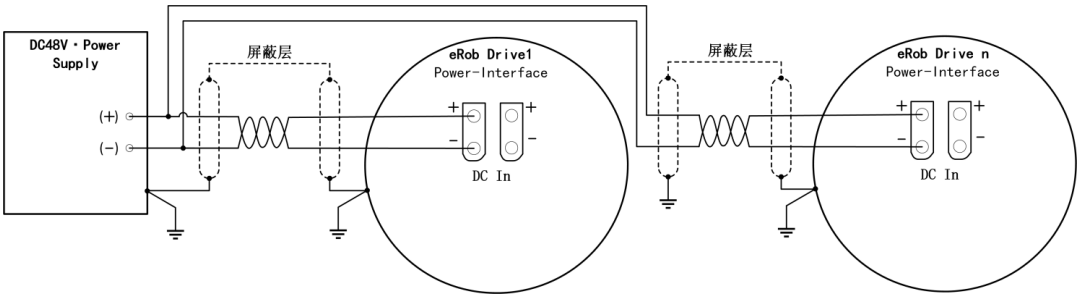


图 6-3 单轴直连示意图

2、树形拓扑连接

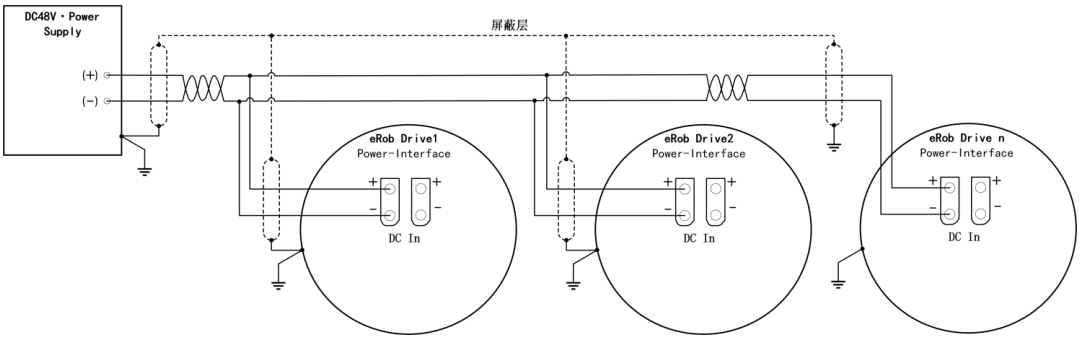


图 6-4 树形拓扑连接示意图

3、链型拓扑连接

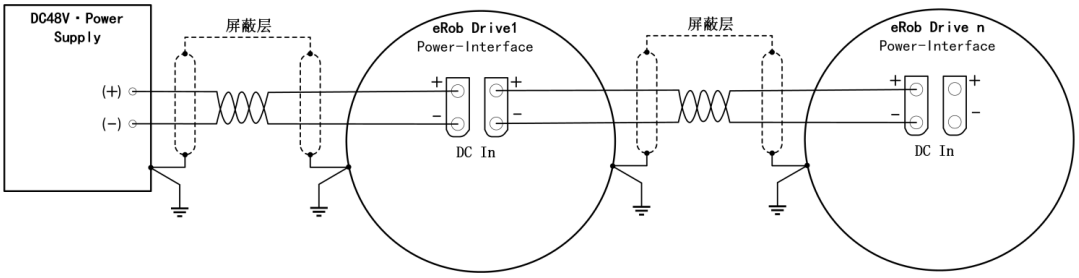


图 6-5 链型拓扑连接示意图

6.1.1 协作机械臂电源接线推荐示例

1、负载 3kg 协作机械臂

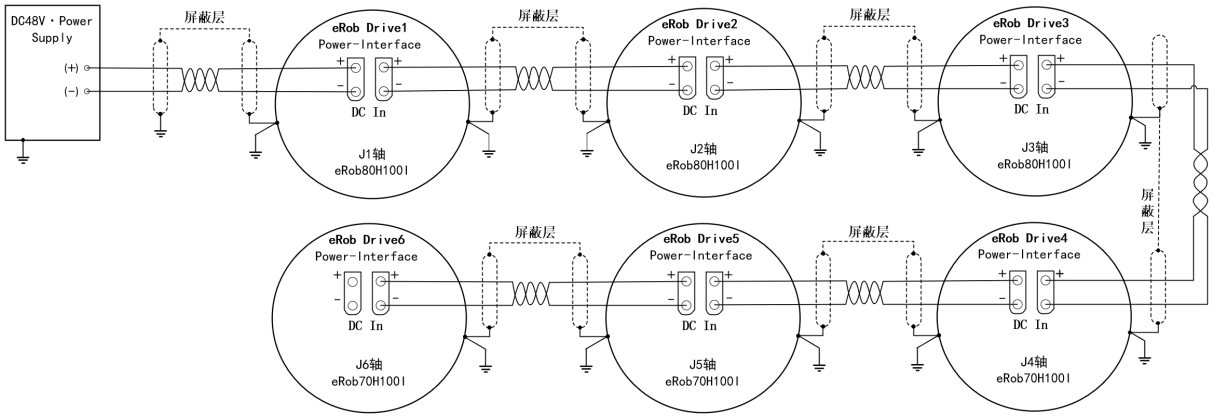


图 6-6 负载 3kg 协作机械臂电源接线示意图

注：由于采用链型拓扑连接，推荐 DC48V 电源输出到 J1 轴之间采用截面积 ≥1mm²（18AWG）电源线，J1~J3 轴之间采用截面积 ≥1mm²（18AWG）电源线，J3~J5 轴之间采用截面积 ≥0.75mm²（19AWG）电源线，J5~J6 轴之间采用截面积 ≥0.5mm²（20AWG）电源线。

2、负载 5kg 协作机械臂

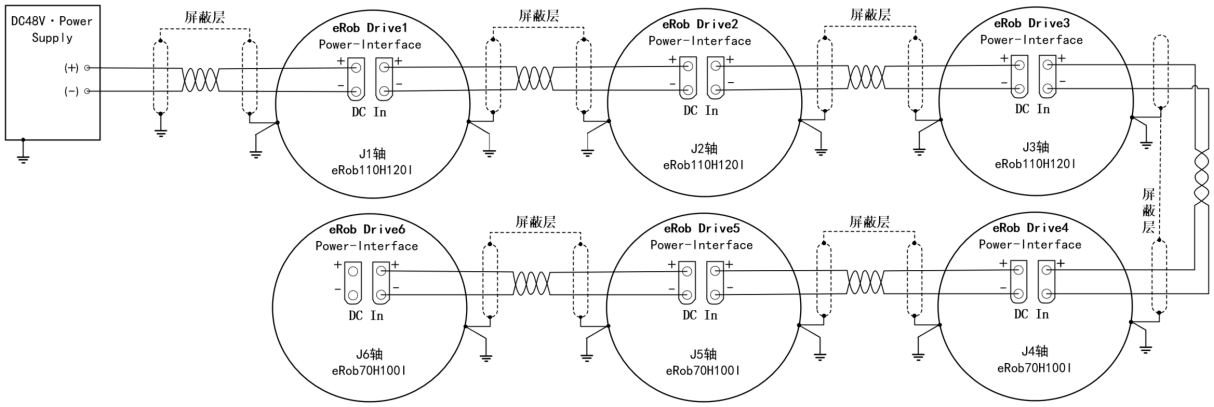


图 6-7 负载 5kg 协作机械臂电源接线示意图

注：由于采用链型拓扑连接，推荐 DC48V 电源输出到 J1 轴之间采用截面积 ≥1.5mm²（16AWG）电源线，J1~J3 轴之间采用截面积 ≥1.5mm²（16AWG）电源线，J3~J5 轴之间采用截面积 ≥0.75mm²（19AWG）电源线，J5~J6 轴之间采用截面积 ≥0.5mm²（20AWG）电源线。

3、负载 10kg 协作机械臂

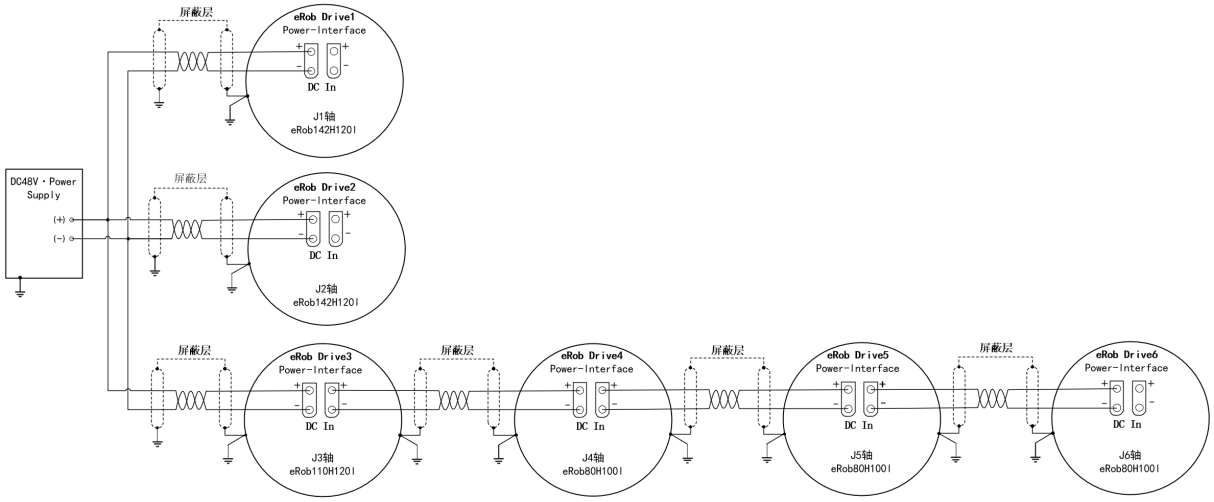


图 6-8 负载 10kg 协作机械臂电源接线示意图

注：由于采用单轴直连和链型拓扑连接，推荐 DC48V 电源输出分别到 J1、J2、J3 轴之间均采用截面积 ≥1.5mm²（16AWG）电源线，J3~J5 轴之间采用截面积 ≥1mm²（18AWG）电源线，J5~J6 轴之间采用截面积 ≥0.75mm²（19AWG）电源线。若 DC48V 电源输出到 J1、J2、J3 轴之间采用分线端子（例如二进六出型）连接，则 DC48V 电源输出到端子输入采用截面积 ≥3mm²（12AWG）电源线。

4、负载 20kg 协作机械臂

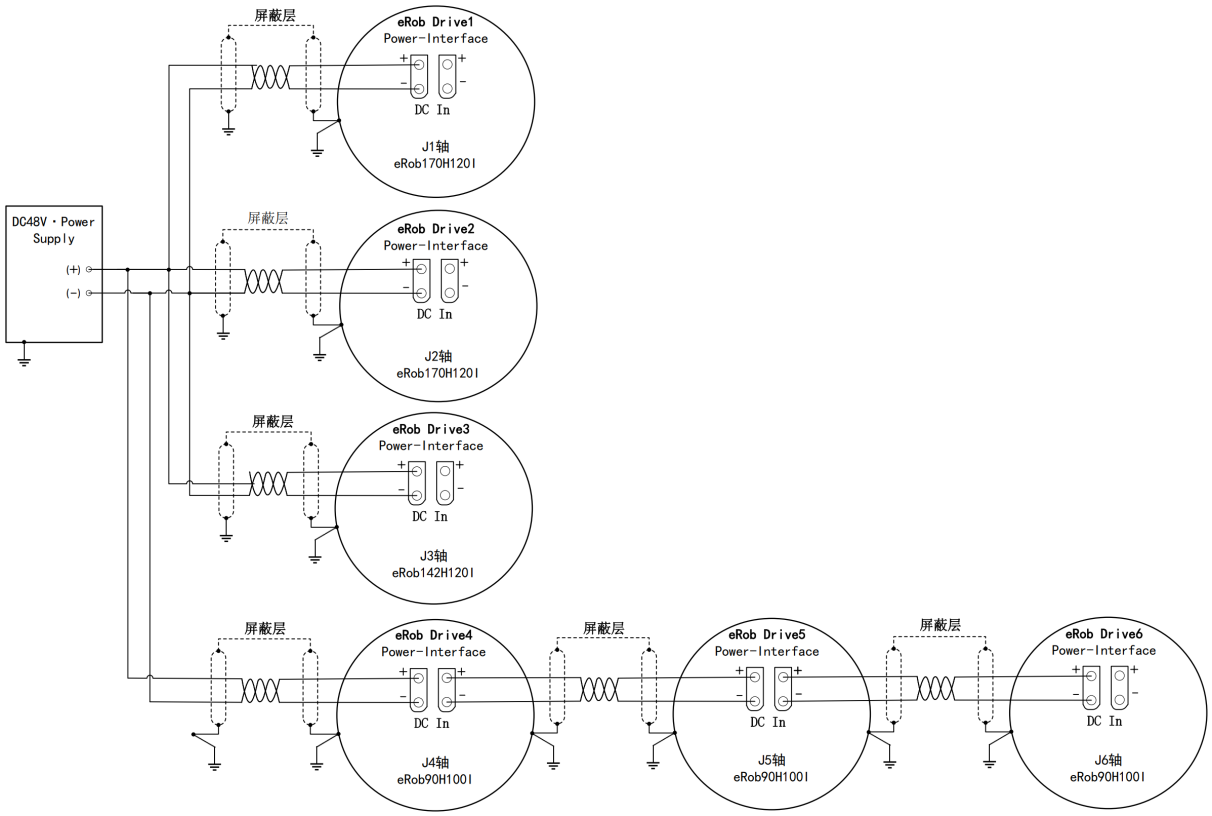


图 6-9 负载 20kg 协作机械臂电源接线示意图

注：由于同时采用单轴直连和链型拓扑连接，推荐 DC48V 电源输出分别到 J1、J2、J3 轴之间均采用截面积 ≥1.5mm²（16AWG）电源线，DC48V 电源输出到 J4 轴之间、J4~J5 轴之间采用截面积 ≥1.25mm²（17AWG）电源线，J5~J6 轴之间采用截面积 ≥1mm²（18AWG）电源线。若 DC48V 电源输出到 J1、J2、J3、J4 轴之间采用分线端子（例如二进八出型）连接，则 DC48V 电源输出到端子输入采用截面积 ≥6mm²（9AWG）电源线。

6.2 CAN/CANopen 通信接线图

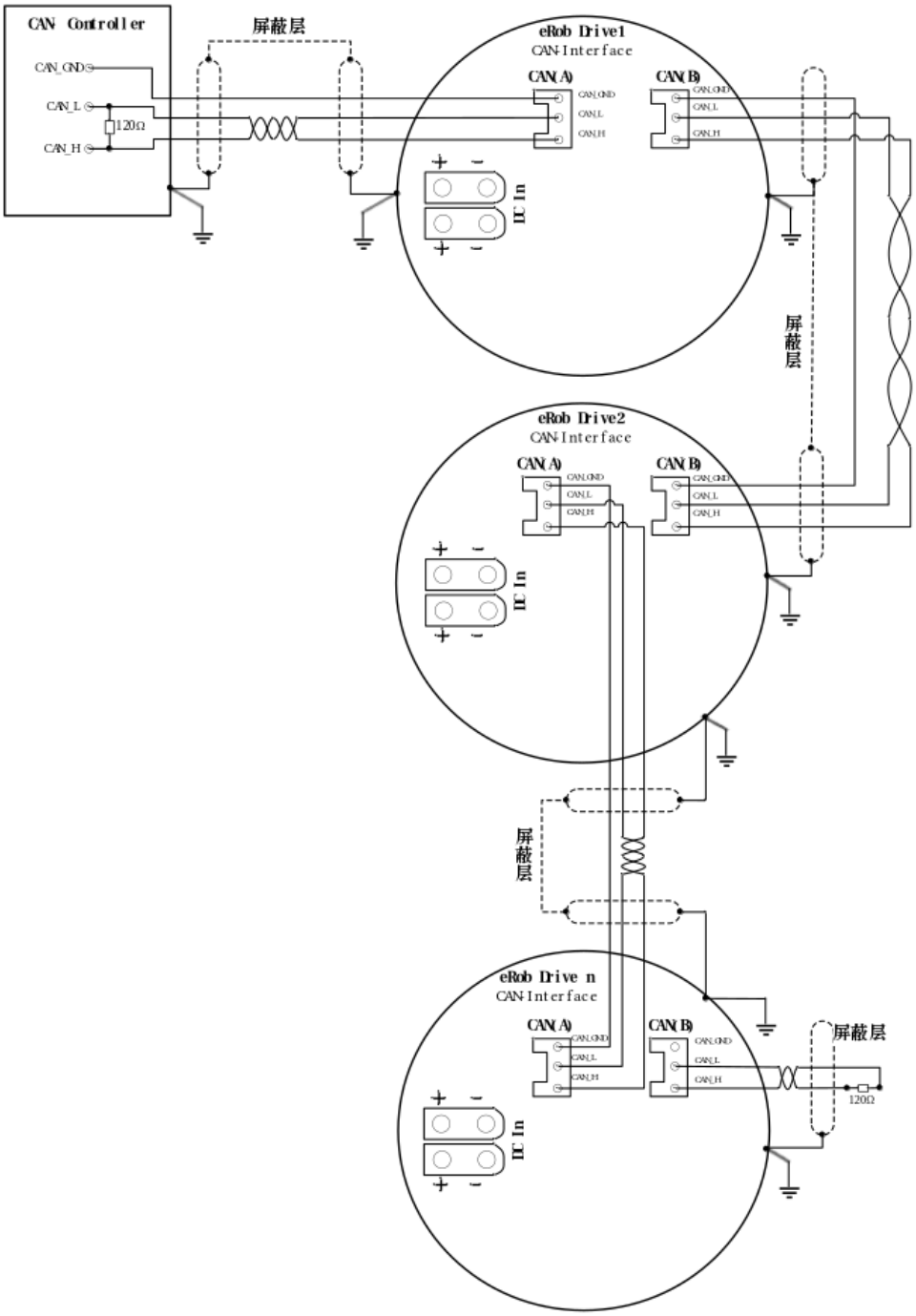


图 6-10 CAN/CANopen 通信接线图

注意事项：CAN 通信线采用双绞线，单独屏蔽，eRob 关节模组采用固定 1Mbps 传输速率，CAN 总线上两个相距最远的节点之间的通信距离可达 25m。如图 6-10，控制器端和末端伺服（eRob Drive n）CAN 接口各需并联一个 120Ω 终端电阻。建立 CAN 通讯之前，需要确保每个关节模组设定唯一的 CAN ID（参考本手册第 27.1.2 节）。CAN 接口电路最大承受电压 DC24V。关节 CAN 和电源供电在关节内部属于共地的，非隔离开，如果您对电气隔离有需求，请您在线路上增加对 CAN 网络的隔离。

6.3 EtherCAT 通信接线图

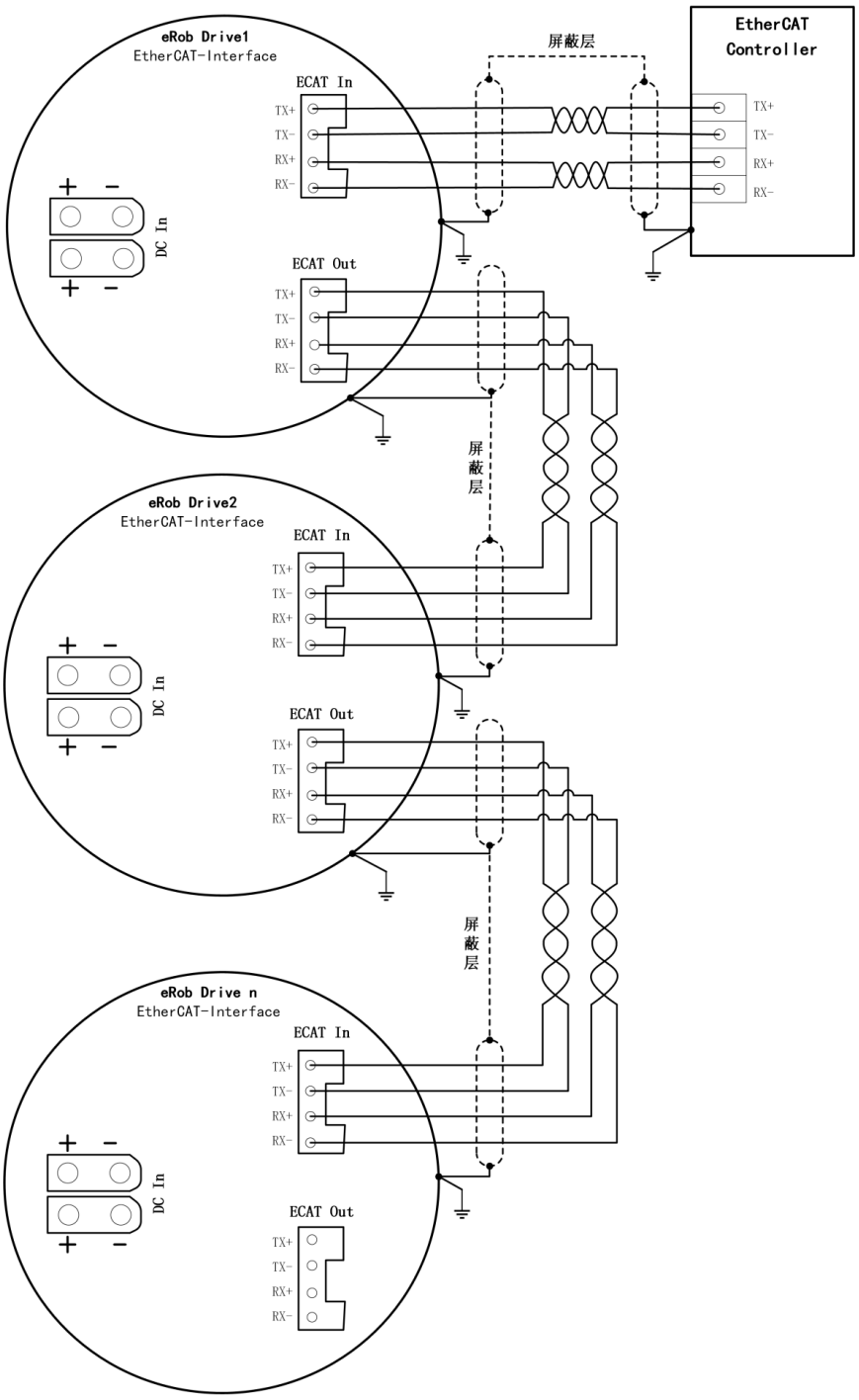


图 6-11 EtherCAT 通信接线图

注意事项：

1、EtherCAT 通信线采用双绞线，单独屏蔽。

2、即使选择通信类型位为 E 的 EtherCAT 配置，仍然建议在整机系统中连接并保留关节 CAN 通信线，并提前设定好关节 CAN ID（参考本手册第 6.2 节），以便于在后续的调试中对整机设备（不拆外壳情况下）各个关节进行调试，包括排查故障、修改参数、升级固件等。

3、如果 eRob 关节之间 ECAT_In 和 ECAT_Out 顺序接反仍然可以建立通信连接，但是会导致 EtherCAT 主站控制器与伺服轴通信连接顺序和实际物理连接顺序不匹配。

6.4 Modbus-RTU 通信接线图

Modbus-RTU 通信接口为 eRob 关节模组 I/O 端子的 RS485 通讯接口，MODBUS 主站系统和 MODBUS 从站系统可以创建多点连接总线网络，接线图如图 6-12 所示。Modbus-RTU 通信协议使用说明详见《eRob 机器人关节 Modbus-RTU 通信应用手册》。

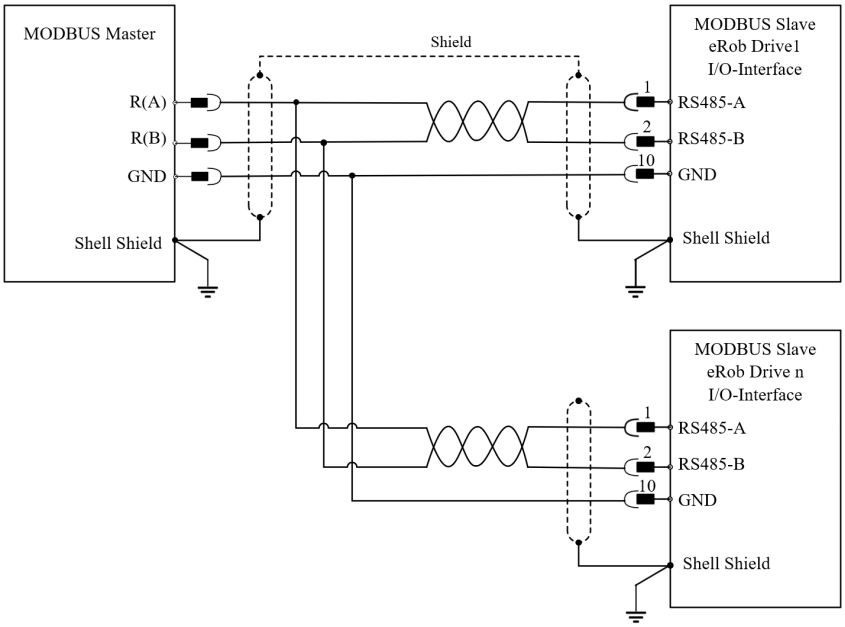


图 6-12 Modbus-RTU 通信接线图

注意事项：

Modbus-RTU 通信线采用双绞线，单独屏蔽。

6.5 I/O 信号端子接线图

通用数字输入 DI 端子

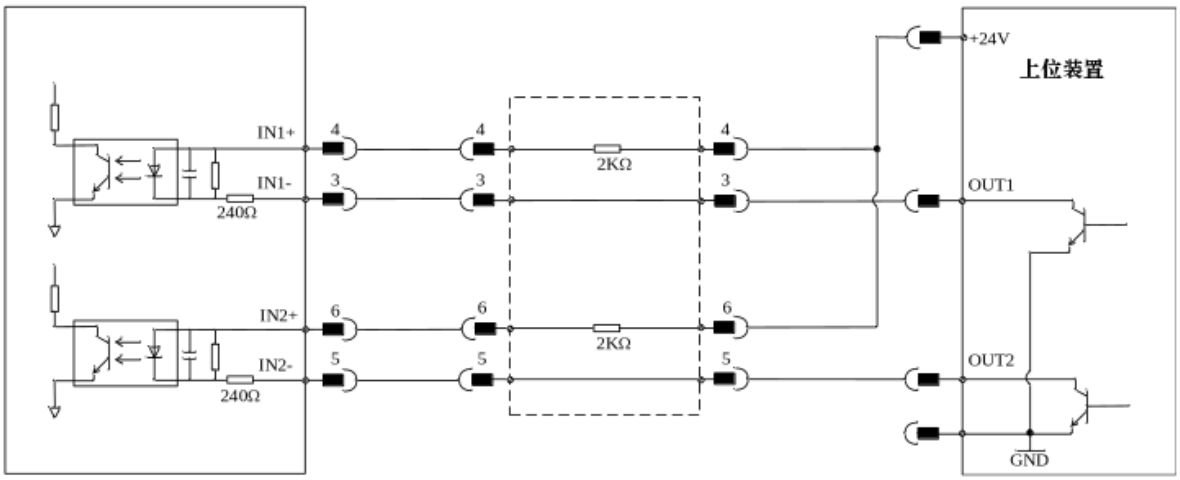


图 6-13 通用数字输入 DI 端子连接图

安全转矩关断 (STO) 功能端子

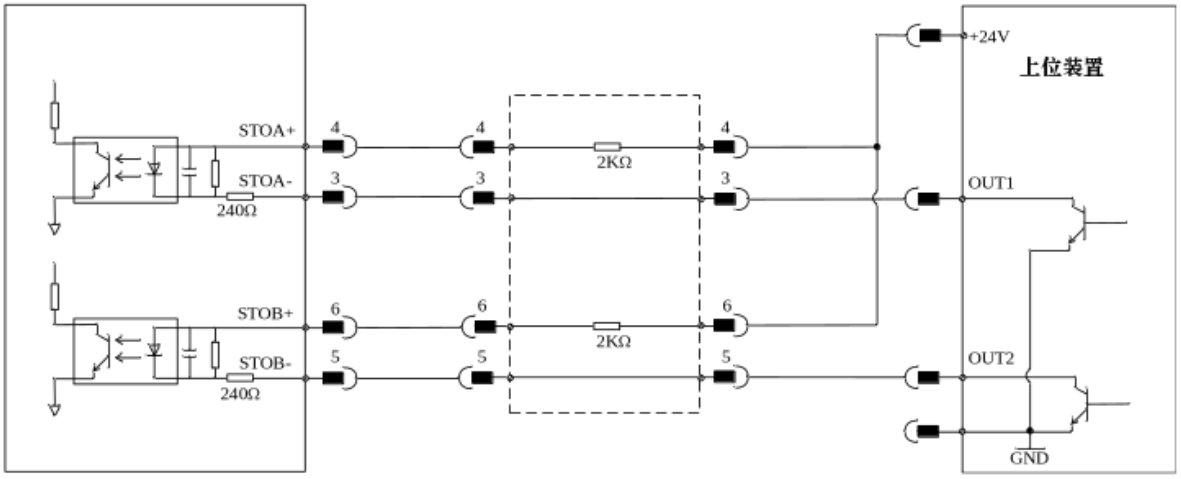


图 6-14 安全转矩关断 (STO) 端子连接图

脉冲方向控制端子

（1）当为 5V 差分方式时

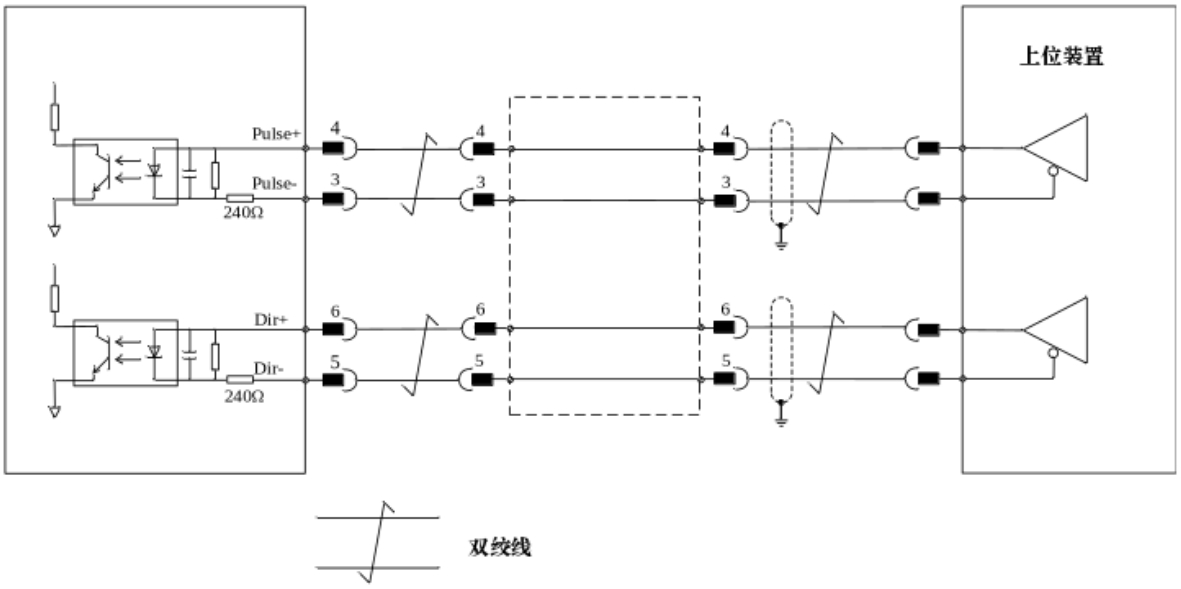


图 6-15 5V 差分脉冲指令输入端子连接图

（2）当为集电极开路方式时

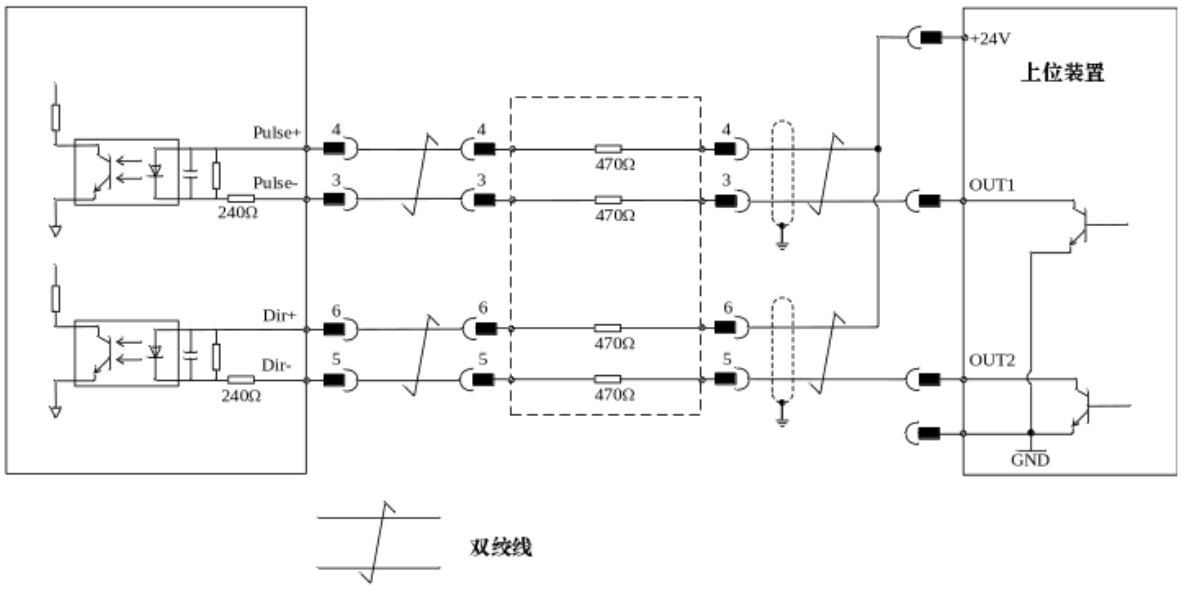


图 6-16 集电极开路脉冲指令输入端子连接图

数字输出 DO 端子

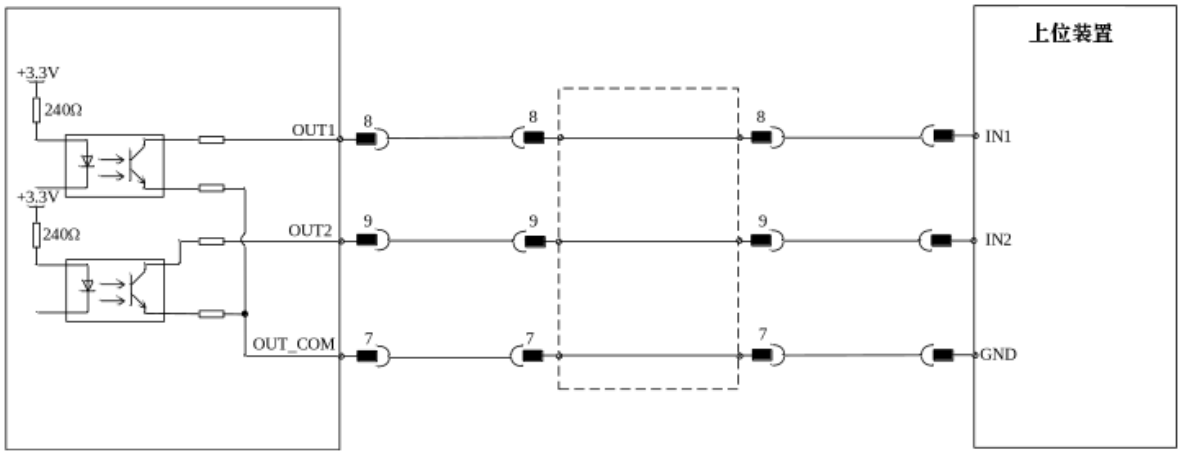


图 6-17 数字输出 DO 端子连接图

模组内部光耦输出电路最大允许电压、电流容量如下：

■ 电压：DC30V(最大)

■ 电流：DC50mA(最大)

6.6 重要的布线相关说明

6.6.1 关节中孔走线注意事项

关节模组拥有直径为 18mm 的超大中空孔，在机器人布线时，电源和通信线缆或气管等可以轻松穿过关节模组的中孔连接到下一个关节模组，或者机械臂末端夹爪等设备，从而实现机器人内部便捷且美观的走线方式。

即使如此，仍需注意当关节中孔走线过多，线缆紧绷时会与关节输出轴产生摩擦从而增加关节旋转的阻力。同

时如果线缆上绑了扎带之类有凸起的东西，若进入到中孔里面，就会对中孔产生挤压的外力，导致输出轴法兰末端发生偏移，从而导致安装在输出轴法兰末端的输出端编码器码盘偏移，导致输出端编码器位置读数偏移。此外，如果用户使用额外的结构件穿过关节中孔也可能会对中孔产生挤压的外力，从而导致该类异常。因此，请勿在关节中孔内过多走线，线缆需预留足够长度以避免线缆紧绷，请勿使用额外的结构件穿过关节中孔，请勿对关节中孔内壁施加过大压力。

另外，还需注意在安装、接线等过程中需确保不会有金属屑掉落到关节后盖的电气接口里面、通孔里面以及关节中空孔（输出端编码器码盘安装位置）的缝隙里面，否则会导致通信不良甚至电气故障。更多说明详见本手册“安全事项说明”中的“注意金属屑落入接口缝隙的风险”。

6.6.2 线缆和电池固定方式说明

为避免关节模组在使用过程中受到振动、运动过程中线缆受到拉扯晃动等因素造成接线端子接触不良（会导致电源供电不稳定、通信不良等故障）甚至端子松脱损坏，需要对线缆和多圈供电电池进行固定。关于线缆走线方式，线缆和电池固定方式可参考如下：

线缆走线

将线缆穿过关节中孔时，通常需先穿过大尺寸的线缆，后穿过小尺寸的线缆，才能使所有线缆顺利的依次穿过。

安装线缆支架

关节后盖上预留了 4 个 M3 螺丝孔（如图 6-18 红圈位置所示），可以使用其中两个安装一个线缆支架。为进一步增加对线缆和多圈供电电池的物理防护以避免磨损，建议在安装线缆支架之前给线缆支架套上热缩管，如图 6-19 所示。



图 6-18 安装线缆支架



图 6-19 线缆支架增加热缩套管

【注意】：请勿私自拆卸关节模组上原有的螺丝，否则将会影响关节模组原有性能以及关节模组的质保。

注：关节后盖预留的 M3 螺丝孔螺纹深度在不同结构版本代号之间略有差异，请根据产品铭牌完整型号确认对应的 2D 图纸；相关 2D 图纸、3D 模型可从零差云控官网https://www.zeroerr.cn下载。

线缆支架可访问我司官网“机器人关节配件”网页购买，相关尺寸请访问零差云控官网https://www.zeroerr.cn下载相关 3D 模型查看。

选择线缆支架锁紧螺钉时，应根据对应型号 2D 安装图确认后盖螺纹孔深度，并综合支架厚度确定螺钉长度，确保实际有效啮合长度不小于第 19.4 节表 19-5 规定值且螺钉不会顶到盲孔底部。图 6-18 所示模组后盖 M3 螺纹

孔采用 M3 内六角圆柱头螺钉，推荐拧紧扭矩为 1.2 N • m，允许偏差为 ±0.2 N • m，最小有效啮合长度为 3.0 mm；具体适用型号见表 19-5。不得套用表 19-3 与表 19-4 中法兰安装或关节固定位置的参数。

线缆和电池固定

所有线缆连接好相应的电气接口后，使用尼龙扎带将线缆全部绑扎固定在线缆支架上，然后以同样方式将多圈供电电池绑扎固定在线缆支架上，如图 6-20 所示。

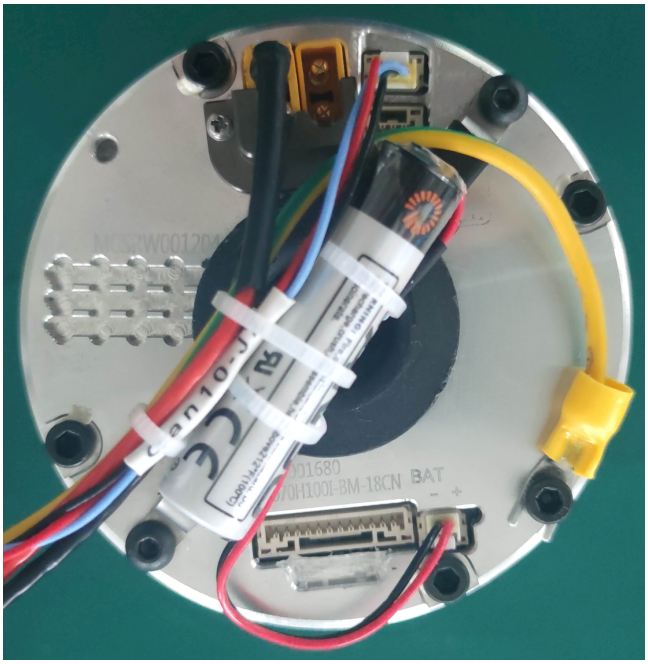


图 6-20 线缆和电池固定

【注意】：在使用扎带对线缆和电池进行绑扎固定时请勿过分用力，稍微扎紧不松动即可，若用力过大易损坏线缆（特别是电池插头线缆）和电池，用力过小则易松动起不到固定作用。

6.6.3 关节外壳接地

关节模组外壳需要接地（PE），外壳接地线可以通过关节后盖上预留的 M3 螺纹孔进行安装接入，如图 6-21 红圈位置所示。使用该 M3 螺纹孔固定接地端子时，螺钉拧紧参数按第 19.4 节表 19-5 中“模组后盖”对应行执行。

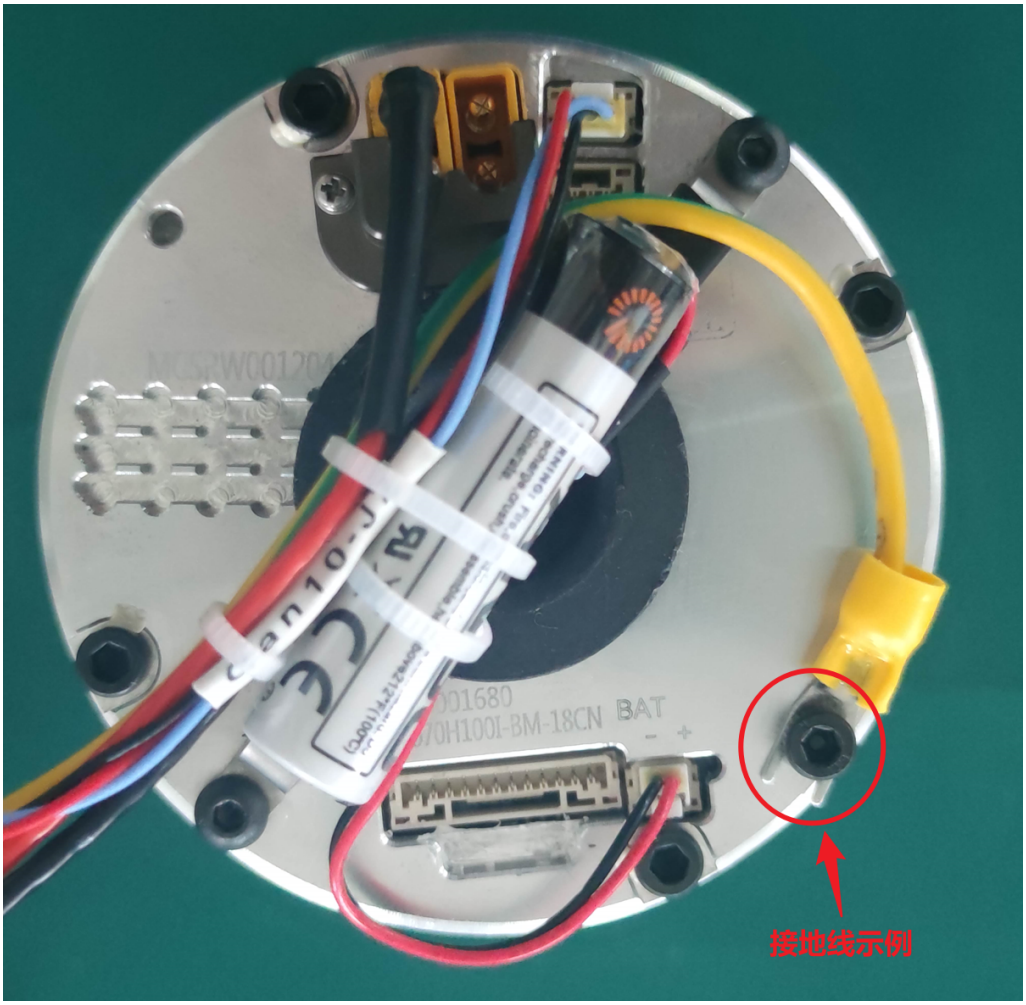


图 6-21 关节外壳接地示例

七、 重要的制动器使用说明

7.1 使用说明及注意事项

制动器不需要额外单独供电，只需连接 eRob 的 DC 电源接口供电即可。eRob 电源供电电压参考本手册第三章《eRob 输入电源说明》。

eRob 制动器可作为静态保持制动器。

eRob 制动器可承受低负载（<10% 最大转矩）、低转速（<10% 最大转速）运行条件下的动态制动冲击，但应避免频繁作为动态制动器使用。

高转速、重载荷下触发故障、意外、急停事件会导致制动器闭合，并对运动组件造成永久性损坏。eRob 在应用开发或调试过程中应避免高转速运动加过重的载荷的条件下使用。

若 eRob 裸露在强磁工作环境下使用，则存在制动器无法正常工作的风险，需对 eRob 本体采取磁屏蔽措施。

极少数情况下，在电源失效或不想使用电源的紧急状况下需要转动机器人关节时，可以通过外力（大于关节模组输出端静摩擦扭矩）迫使机器人关节转动，每个规格族的输出端静摩擦力矩值如表 7-1，对应的关节模组电机端内置保持制动器静摩擦扭矩值如表 7-2 所示。

表 7-1 关节模组输出端静摩擦扭矩（Nm）

规格族代号 减速比	eRob70F	eRob70	eRob80	eRob80F	eRob90	eRob110	eRob142	eRob170
50	30	30	62	44	90	127	281	402
80	40	40	75	-	118	195	395	519
100	50	50	89	61	132	206	433	620
120	-	50	89	-	132	246	497	775
160	-	-	-	-	-	246	497	840

【注意】：表 7-1 列出的关节模组输出端静摩擦扭矩为关节模组出厂测试（在断电未使能情况下进行的静态制动扭矩测试）的合格标准值，当施加在关节模组输出轴的负载扭矩不超过此标准值时关节可以保持位置锁定状态，而当施加在关节模组输出轴的负载扭矩大于此标准值时关节可能无法保持位置锁定状态，从而导致负载滑落引起危险，因此请勿施加大于此标准值的负载扭矩。

表 7-2 关节模组电机端内置保持制动器静摩擦扭矩（Nm）

规格族代号	eRob70F	eRob70	eRob80	eRob80F	eRob90	eRob110	eRob142	eRob170
制动扭矩 T（Nm）	0.7		1.3		2.5		4.5	6

【警告】：外力强制转动机器人关节仅限于紧急情况，并且有可能会损坏机器人关节。

当关节模组输出端静摩擦扭矩大于减速机瞬间容许最大转矩时，强制拖动，减速机可能先于制动器损坏，关于减速机寿命，详见本手册第二十四章《关于使用寿命》。

当 eRob 电源正常供电时，上使能将自动释放制动器（制动器松开），下使能时自动使制动器闭合，制动器物

理动作时间约 150ms，需注意：下使能到重新上使能间隔需至少 300ms；使能后，等待至少 500ms 以上再发送运动指令，相关内容请参考《eRob CANopen and EtherCAT 用户手册》第 5.1 节“操作时序”。

7.2 关于制动器的寿命

7.2.1 开合次数

每一款模组使用的制动器都抽样测试过 10 万次以上的吸合测试，吸合寿命测试结束后各项性能参数指标都正常。

7.2.2 闭合时，强制拖动次数

制动器可以承受偶发的强制拖动，每个制动器出厂前都会经历 1000 圈以上的闭合时强制拖动测试，各项性能参数指标都正常。

7.3 非使能状态，强制开启制动器操作方法

当 eRob 电源正常供电，需要在电机未使能状态下实现通过外力转动关节时，可采取本节操作方法单独释放刹车后以较小的外力转动关节。

【注意】：确保在停机且非使能状态下进行释放刹车的操作。操作释放刹车后制动器松开，此时无制动力矩，如果关节输出端有负载重力扭矩将无法保持位置锁定状态，请务必先扶住负载或卸下负载后再操作释放刹车，以防止负载掉落引起危险。

7.3.1 eTuner 安装调试软件操作

软件适用：本小节步骤及界面图适用于 eTuner；eTunerII 的入口及操作要求见附录 4（A4.4）。接线、停机与负载支撑要求对两款软件的操作均适用。

Step1：如图 7-1，安装有 eTuner 安装调试软件的电脑，通过 eRob 调试器连接 eRob 的 CAN 通信接口，然后给 eRob 提供正确电源。

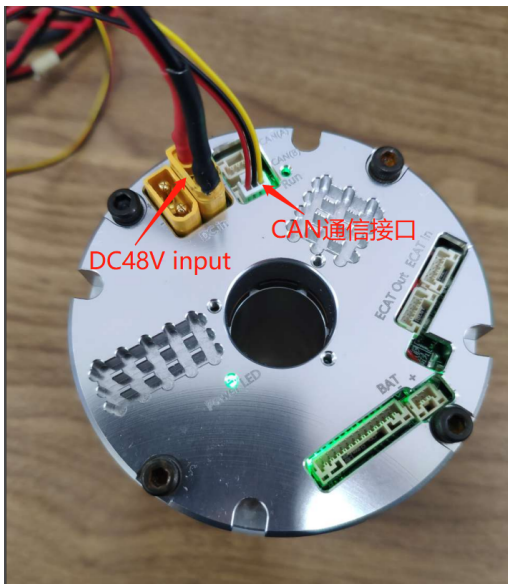


图 7-1 CAN 接线

Step2：打开 eTuner 安装调试软件，进入 eTuner 安装调试软件主界面，点击“设置马达”，弹出“设置马达”界面，如图 7-2。

释放刹车：点击“释放刹车”按钮，则制动器处于释放（非制动）状态。

启用刹车：点击“启用刹车”按钮，则制动器处于闭合（制动）状态。

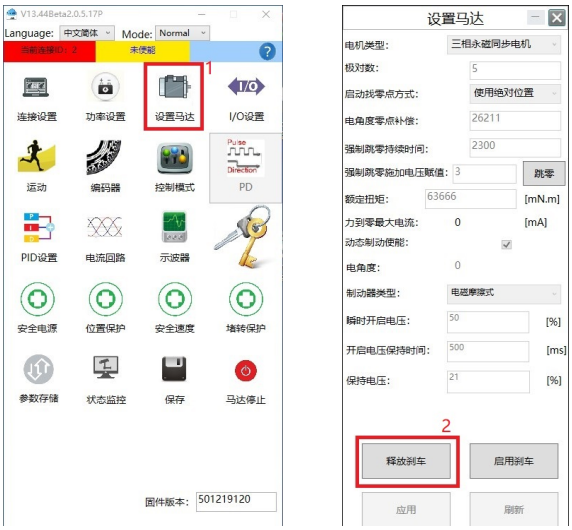


图 7-2 连接 eTuner 安装调试软件释放刹车

注：eTuner 安装调试软件与伺服通讯为 CAN 通讯，因此也可通过发送 CAN 报文指令的方式来操作制动器，报文协议请阅读我司《eRunner 用户手册》。

以伺服 ID=1 为例，发送报文如表 7-3 所示：

表 7-3 制动器 CAN 控制报文

功能	COB-ID	报文
释放刹车	641	01 4F
释放刹车	5C1	3E
启用刹车	641	01 00 00 00 00 00
启用刹车	5C1	3E

7.3.2 EtherCAT 操作

Step1：如图 7-3，安装有主站软件（TwinCAT3）的电脑或者其他具备 EtherCAT 通信的主站控制器，通过网线连接 eRob 的 ECAT 通信接口，然后给 eRob 提供正确电源。

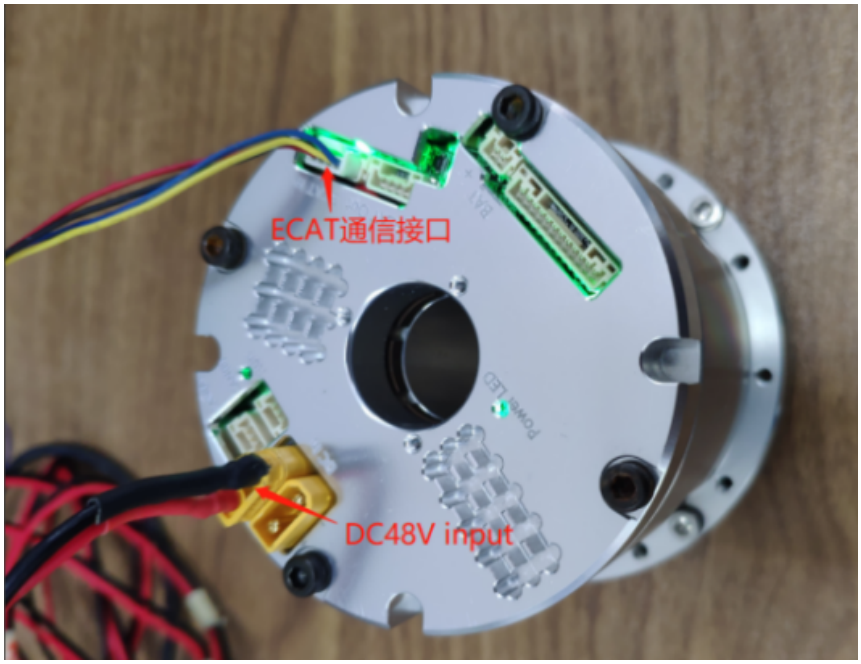


图 7-3 EtherCAT 接线

Step2：以 TwinCAT3 主站为例，通过 SDO 访问释放刹车参数对象 4602h（Release Brake）写入值 1，操作方法如图 7-4，点击“Device 2(EtherCAT)”，点击“Drive1(zeroErr Driver)”，点击“CoE-Online”，下拉找到对象“4602”，左键双击此参数对象，弹出“Set Value Dialog”界面，在“Dec”值输入 1，最后点击“OK”，则制动器处于释放（非制动）状态，写入值 0，则制动器处于闭合（制动）状态。

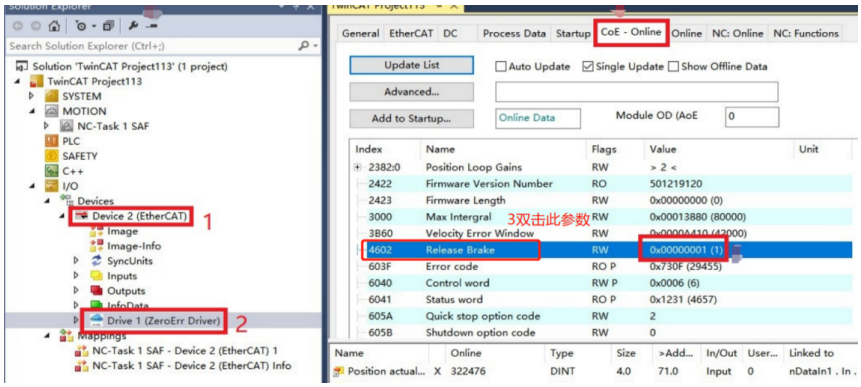


图 7-4 TwinCAT 操作释放刹车

7.3.3 CANopen 操作

Step1：如图 7-5，具备 CANopen 通信的主站控制器连接 eRob 的 CANopen 通信接口（与 CAN 通信同一硬件接口），然后给 eRob 提供正确电源。



图 7-5 CANopen 接线

Step2：主站控制器发送 CANopen 报文指令的方式来操作制动器。报文协议请阅读我司《eRob CANopen and EtherCAT 用户手册》。

以伺服 ID=1 为例，发送报文如表 7-4 所示：

表 7-4 制动器 CANopen 控制报文

功能	COB-ID	报文
释放刹车	601	23 02 46 00 01 00 00 00
释放刹车	581	60 02 46 00 00 00 00 00
启用刹车	601	23 02 46 00 00 00 00 00
启用刹车	581	60 02 46 00 00 00 00 00

7.4 制动器异常判断方法

软件适用：以下电源输出电流检查适用于两款软件。eTuner 释放刹车见第 7.3.1 节；eTunerII 见附录 4（A4.4）。

出现以下情况之一时则制动器出现异常：

eRob 关节在失电、并带额定负载情况下出现下滑无法保持。

单独给一个 eRob 关节采用 DC48V 电源供电，eRob 关节空载静止，上电不做任何操作 6 秒后电源输出电流超出正常值（参考表 7-5），然后用 eTuner 安装调试软件点击释放刹车（操作步骤详见本手册第 7.3.1 节）3 秒后电源输出电流超出正常值（参考表 7-5）。

表 7-5 eRob 关节单独供电电源电流

• 规格族代号	• 上电不做任何操作 6 秒后 • 电源电流（单位：mA）	• 点击释放刹车 3 秒后 • 电源电流（单位：mA）
eRob70	35~60	70~120
eRob80	35~60	90~120
eRob90	35~60	175~210
eRob110	35~60	175~210
eRob142	35~60	150~180
eRob170	35~60	150~180

八、 回收动能的处理

8.1 回收动能产生原因分析

当模组使用 48V 开关电源供电时，其简化电路回路等效于图 8-1 和图 8-2 所示。

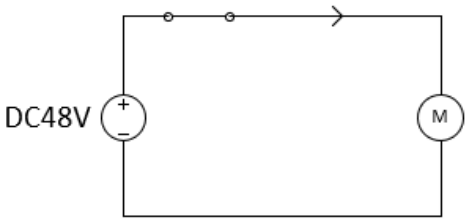


图 8-1 正常工作时

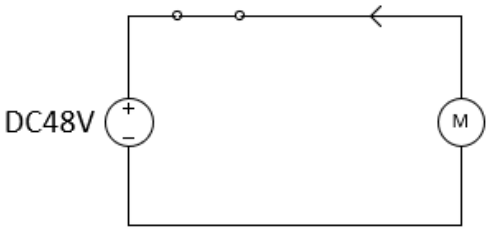


图 8-2 减速工作时

如图 8-1 正常工作时，电源向负载（电机）供电，输出电能。如图 8-2 当负载处于减速工作时，电路回路处于回收动能的过程，即此时电机相当于发电机工作，动能转换为电能回馈，反向电流向电源端电容不断充电使电压升高。由于回收动能（功率）∝T*n（扭矩 * 转速），因此速度越快，负载越大，回收动能（功率）越高，当电源电压升高到大于驱动设置的最高允许母线电压时，伺服会发生母线电压过高报错而停止。

8.2 处理方法

针对动能回收处理有三种处理方法：1）加泄放电阻；2）加超级电容；3）加蓄电池。

8.2.1 加泄放电阻

当模组使用 48V 开关电源供电，增加泄放电阻的工作电路可简化等效于图 8-3 和图 8-4 所示。

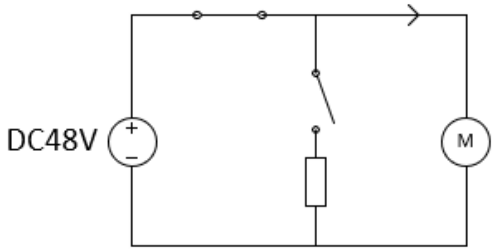


图 8-3 当 V_{DC} < 51 V 时电阻断开

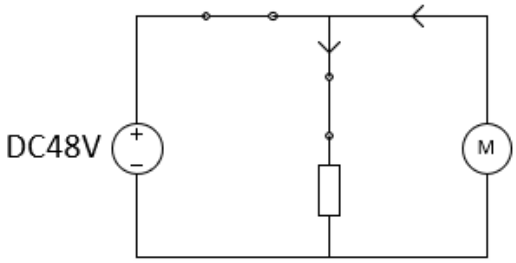


图 8-4 当 V_{DC} > 53 V 时电阻接通

加泄放电阻作用在于当电路回路处于回收动能的过程时，多余能量通过电阻消耗，从而避免动能回馈导致的电源电压冲高。但是泄放电阻不能长时间接入电路，否则会持续产生较多热量导致器件损伤或电路故障以及不必要的电能消耗。因此建议有必要设计可靠的泄放电阻接通控制逻辑。例如当驱动最高允许母线电压设定值为 55V，最低允许母线电压设定值为 44V，则泄放电阻接通控制逻辑可设计为：当 V_{DC} > 53 V 时接通（如图 8-4，此时多余电能通过电阻消耗），当 V_{DC} < 51 V 时断开（如图 8-3，此时电源仅向电机输出电能）。

8.2.2 加超级电容

利用超级电容的超大电容量和快速充电特性，可采用超级电容来吸收回收动能，其工作电路可简化等效于图 8-5 和图 8-6 所示。

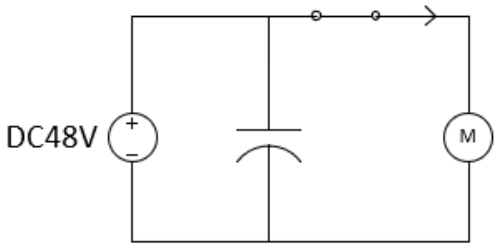


图 8-5 超级电容放电

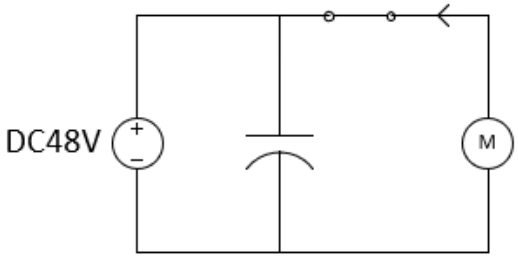


图 8-6 超级电容充电

如图 8-5 正常工作时，开关电源和超级电容同时向负载（电机）供电，输出电能。如图 8-6 当负载处于减速工作时，动能转换为电能回馈，超级电容快速充电回收部分动能，从而避免电源电压快速冲高，实现电源电压在安全电压范围内波动的效果。

8.2.3 加蓄电池

利用蓄电池充电吸收回收动能，其工作电路可简化等效于图 8-7 和图 8-8 所示。

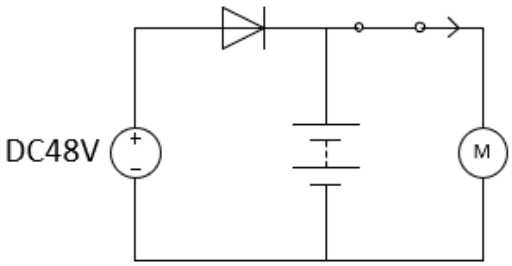


图 8-7 开关电源加蓄电池供电

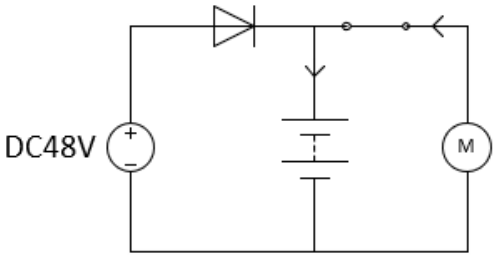


图 8-8 蓄电池充电

与超级电容作用原理类似，在正常工作时，开关电源和蓄电池可同时向负载（电机）供电，输出电能（如图 8-7 所示）。如图 8-8 当负载处于减速工作时，动能转换为电能回馈，利用蓄电池充电回收动能。

九、 编码器和位置反馈

软件适用：本章介绍 eTuner 的位置监控、编码器重置、机械零点和位置保护步骤及界面图；使用 eTunerII 时，参见附录 4（A4.5）。位置定义、机械条件和固件要求仍按本章执行。

9.1 编码器分辨率和单圈位置反馈

关节模组采用双编码器实现全闭环控制，包含一个电机端单圈绝对值编码器，分辨率为 17bit，一个输出端（负载端）单圈绝对值编码器，分辨率 19bit（如为带多圈功能的关节配置，多圈位数 16Bit）。

编码器分辨率是指轴转一圈所输出的位置数。例如关节的输出端（负载端）编码器分辨率为 19Bit，即一圈输出的位置数是 2^{19}；19Bit 分辨率的单圈位置反馈是 0~524287，在 0 的位置往反方向运动会从 0 跳变到 524287，在 524287 位置往正方向运动会从 524287 跳变到 0。

计算单圈角度对应编码器位置（19Bit）：角度 ÷360×524288

例如：20° 的位置对应编码器位置为 20 ÷ 360 × 524288。

9.2 关节的位置反馈

当编码器单圈位置在边界位置发生跳变时关节会进行多圈圈数计数。如图 9-1 所示，19Bit 分辨率的编码器边界位置为 0 和 524287，正转是从 524287 跳变到 0，多圈圈数 +1，反转是从 0 跳变到 524287，多圈圈数-1。

当前位置计算公式：位置 = 圈数 × 分辨率 + 单圈位置。

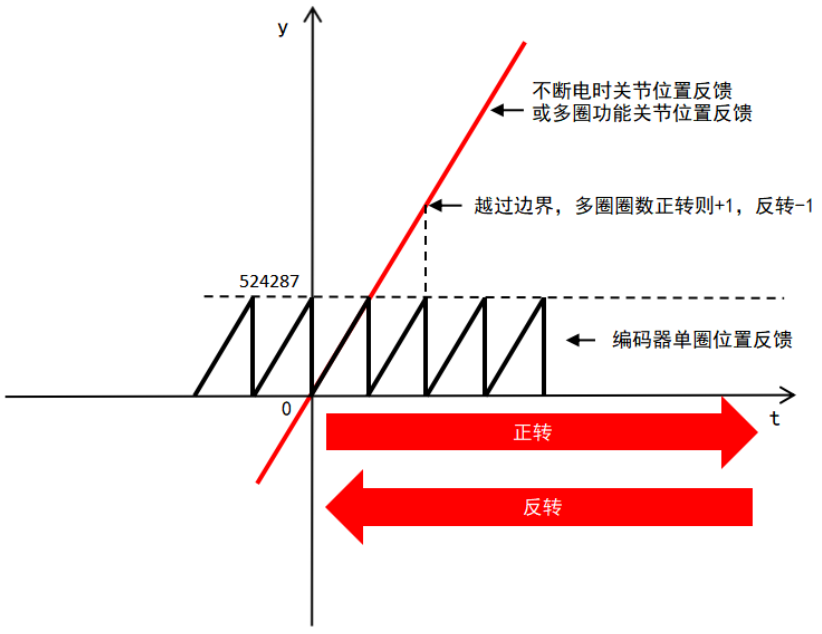


图 9-1 位置反馈示意图

关节位置反馈获取方式：

（1）通过 EtherCAT 或 CANopen 总线读取对象索引 6064h（实际位置，单位：脉冲），由上述位置计算公式可知，6064h 值 = 圈数 × 分辨率 + 单圈位置。

（2）在我司 eTuner 安装调试软件中，通过“状态监控”界面中显示的“位置”读取关节的位置反馈，单圈位置反馈对应“编码器”界面中的“编码器读数”，如图 9-2 所示。

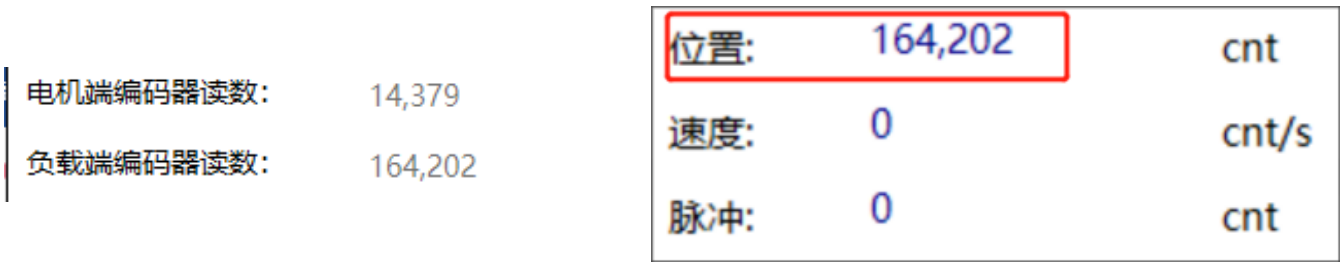


图 9-2 eTuner 安装调试软件读取位置反馈

eTunerII（新版）：查看位置反馈

在“**状态监控**”中查看“**位置**”和“**负载编码器位置**”；两者不是同一信号，不能互相代替，也不能直接将读数当成角度。编码器配置及重置差异见附录 4（A4.5）；具体操作查阅随附帮助第 10 节“状态与故障诊断”。



图 9-2A eTunerII 状态监控（浅色界面）

截图用于识别界面与入口，图中状态、数值和波形均为示例，不作为推荐参数或验收指标。

9.3 使用单圈功能的关节位置和注意事项

配置单圈编码器的关节模组在安装前需要调整模组减速机输出端位置，确保设备运行范围内不会出现越过输出端单圈编码器边界位置 (0 和 524287)，否则将会出现断电重启丢失多圈计数，关节位置反馈变为输出端编码器单圈位置。

9.4 使用多圈功能的关节位置和注意事项

配置多圈编码器的关节模组则不需要在安装前调整模组减速机输出端位置来配合机械零位。但需注意多圈关节使用前需要安装 3.6V 多圈供电电池，然后点击 eTuner 安装调试软件编码器界面的重置负载端编码器按钮清除多圈电池错误（操作方法如图 9-3 所示）。如果用户将多圈关节作为单圈关节使用（即不接 3.6V 多圈供电电池使用），需要注意多圈关节在每次断电重启时都会报错，用户可以通过控制字（6040h）写 0x80 清除错误，然后上使能运行，请确保设备运行范围不会超出一圈且不会出现越过输出端单圈编码器边界位置 (0 和 524287)，否则在断电重启后会丢失多圈计数，位置反馈变为输出端编码器单圈位置。



图 9-3 负载端编码器复位操作

9.5 机械零点标定功能使用说明

9.5.1 单圈关节机械零点标定功能

单圈关节由于安装的原因，在用户定义的机械零点为中心达到最大的运行范围时，位置反馈值可能会越过边界值（0 或 524287），用户可利用机械零点标定功能，将定义的机械零点设置为 262144，保证单圈关节运行范围最大（-175°~175°），且位置反馈值在单圈位置范围内，如图 9-4 所示。

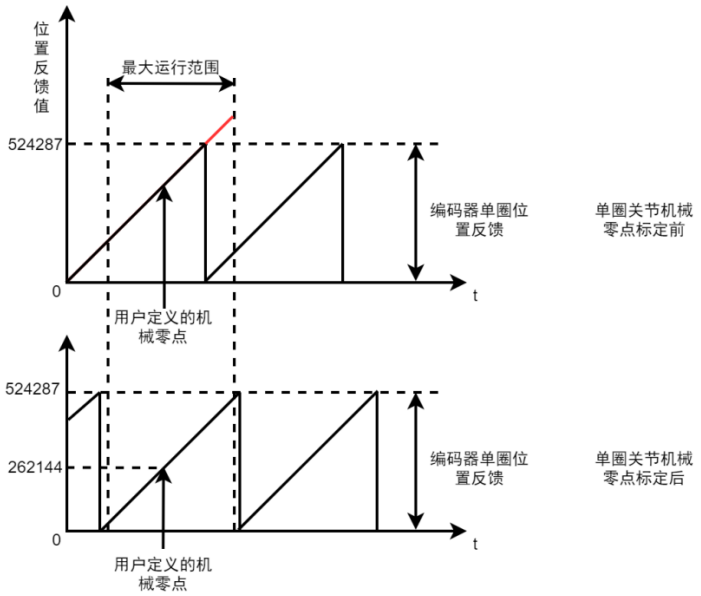


图 9-4 单圈关节机械零点标定前后对比图

连接 eTuner 安装调试软件，运动至用户定义的机械零点，详细运动步骤请参考本手册第十五章“关节试运行”，单圈关节零点标定流程图如图 9-5 所示。

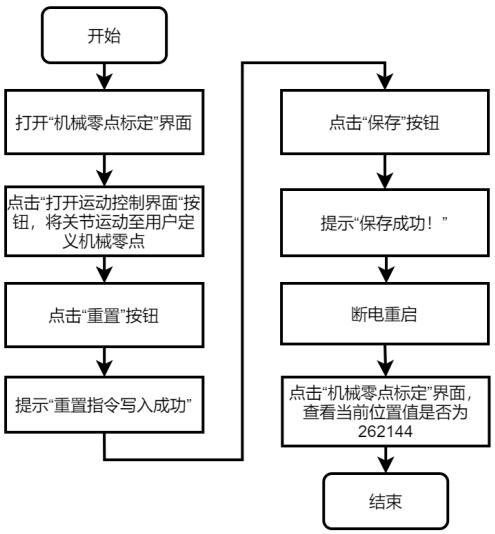


图 9-5 单圈关节机械零点标定流程图

单圈关节机械零点标定使用步骤如图 9-6 所示，提示保存成功后断电重启，打开机械零点标定界面，查看当前位置值为 262144 则表明设置成功。



图 9-6 单圈关节机械零点标定功能

注：eTuner 安装调试软件 V13.72 单圈关节机械零点标定功能需匹配 X3071220X 版本及以上固件。

9.5.2 多圈关节机械零点标定功能

多圈关节用户可使用机械零点标定功能，将定义的机械零点值根据现场实际情况灵活设置机械零点值（0~524287），默认配置机械零点值为 262144，如图 9-7 所示。

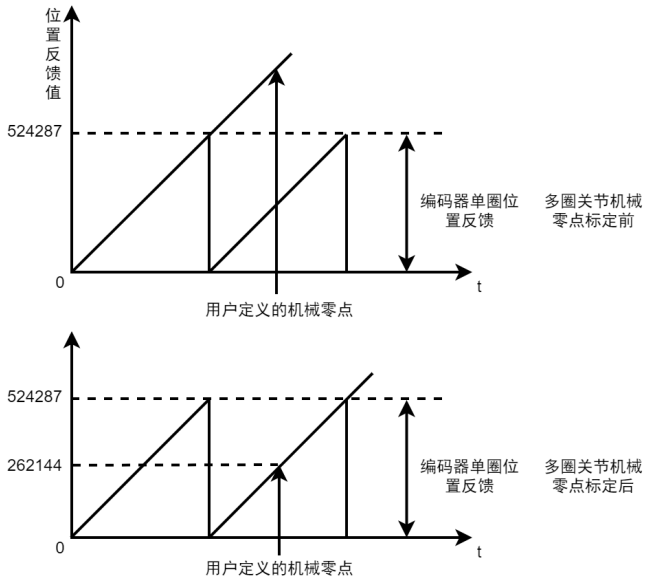


图 9-7 多圈关节机械零点标定前后对比图

连接 eTuner 安装调试软件，运动至用户定义的机械零点，详细运动步骤请参考本手册第十五章“关节试运行”，多圈关节机械零点标定功能流程图如图 9-8 所示。

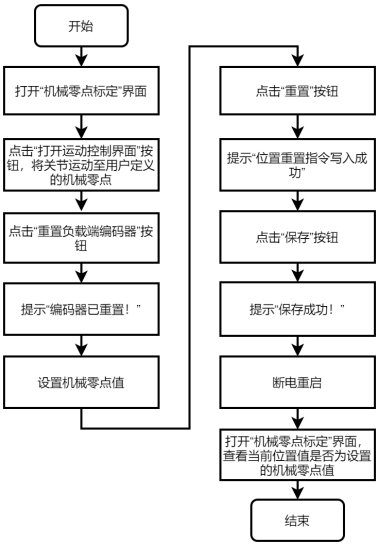


图 9-8 多圈关节机械零点标定流程图

多圈关节机械零点标定操作步骤如图 9-9 所示，提示保存成功后断电重启，打开机械零点标定界面，查看位置值为机械零点设定值则表示设置成功。



图 9-9 多圈关节机械零点标定功能

注：eTuner 安装调试软件 V13.72 多圈关节机械零点标定功能需匹配 X3071220X 版本及以上固件。

9.6 位置保护功能使用说明

关节出厂时配置了位置保护出厂参数，如图 9-10 所示，用户可以使用位置保护功能来限制关节的实际运行范围，防止关节运行超出实际允许的最大运行范围，导致设备撞机或关节与关节之间互联的线缆扭断损坏。

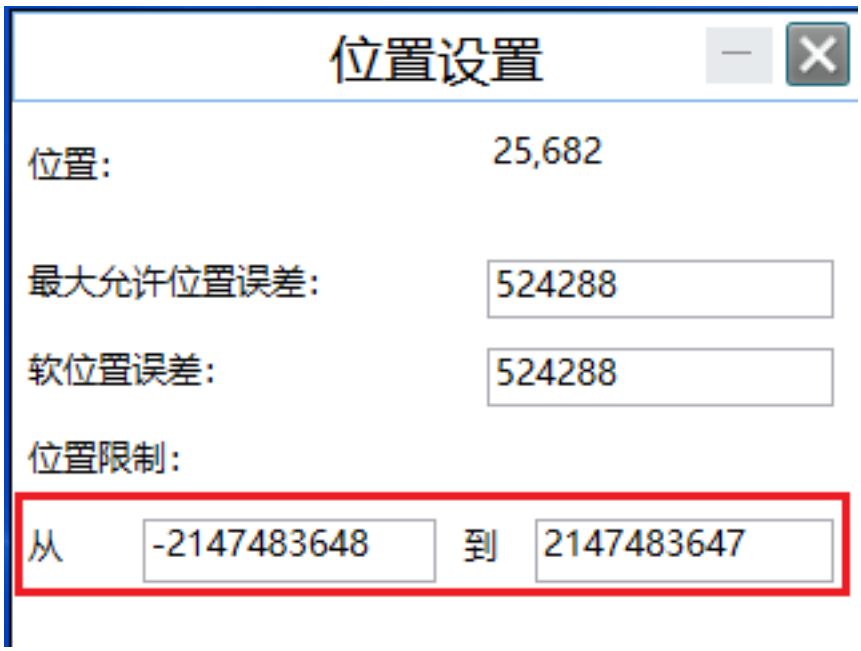


图 9-10 位置保护出厂参数

例如实际运行范围为 +/-15°，机械零位（0°）对应的编码器位置为 262144，则：

下限设定值：262144 - 21846 = 240298

上限设定值：262144 + 21846 = 283990

通过 eTuner 安装调试软件设置方法如图 9-11 所示，打开“位置保护”界面，设置位置限制：从（下限设定值）到（上限设定值），然后点击应用、保存。



图 9-11 位置保护设置

通过 EtherCAT 或 CANopen 总线也可设置位置保护参数。位置保护参数对象索引为 607Dh，将下限设定值写入 607Dh: 01h，上限设定值写入 607Dh: 02h，然后对 1010h:01h 写入保存指令 65766173h（写入其他值无效，回读值为 0；回读值为 1 时表示正在执行保存；回读值为 2 时表示保存完成）。

按照上述方法设置后位置限制保护功能立即生效。关节是否超出限位由状态字 6041h 的 bit11 状态指示，相关说明请查看《eRob CANopen and EtherCAT 用户手册》第 5.4.1 节“状态字”。不同运行模式的位置限制效果说明见表 9-1。

表 9-1 不同运行模式的位置限制效果

6060h 设定值	运行模式	位置限制效果
0x01	轮廓位置模式	若主站控制器下发的目标位置（607Ah）超出限位位置，则驱动器会以限位位置作为内部目标位置进行运动轨迹规划，到达限位前按轮廓减速度（6084h）减速至 0 并停在限位位置，持续输出位置保持力矩。此时驱动器只会执行限位位置范围内的目标位置（607Ah）指令。
0x04	轮廓扭矩模式	当实际位置（6064h）到达或超出限位位置，则驱动器会立即关闭电机的电源，但制动器不会闭合，此时电机电流（6078h）和实际力矩（6077h）均为 0，不会输出位置保持力矩。请注意此时关节仍处于使能状态，关节可能会因为惯性以及负载重力而继续运动。此时驱动器只会执行向限位位置范围内的方向运动的目标力矩（6071h）指令。
0x08	周期同步位置模式	当实际位置（6064h）到达或超出限位位置，则驱动器会快速减速停机并返回到限位位置，持续输出位置保持力矩。此时驱动器只会执行限位位置范围内的目标位置（607Ah）指令。
0x0A	周期同步扭矩模式	当实际位置（6064h）到达或超出限位位置，则驱动器会立即关闭电机的电源，但制动器不会闭合，此时电机电流（6078h）和实际力矩（6077h）均为 0，不会输出位置保持力矩。请注意此时关节仍处于使能状态，关节可能会因为惯性以及负载重力而继续运动。此时驱动器只会执行向限位位置范围内的方向运动的目标力矩（6071h）指令。

十、 多圈供电电池说明

10.1 电池作用

在多圈配置的关节模组掉电时为负载端多圈绝对值编码器提供工作电源，以记忆多圈位置值，避免机器人等设备丢失零点。

10.2 电池使用注意事项

使用我司多圈供电电池的注意事项：

（1）不得更改原电池接线线序，请勿使用过大力拉扯电池线；

（2）不得使用导线或其他具有导电性的介质直接短接在电池的正负极两端；

（3）原电池接线端子只适用于我司关节多圈供电电池接口，接入时注意插入方向正确，插入后电池本体要固定，避免接线端子受到拉扯晃动；

（4）首次安装电池或更换新电池后需复位负载端编码器（复位操作方法详见本手册第 9.4 节）。更换电池时拔出接线端子请勿直接拔出，需先扣动端子前端卡扣使卡扣松脱后再轻轻拔出即可。

更多安全注意事项见本手册附录 1“多圈供电电池相关安全注意事项”。

10.3 多圈电池电流与维护

在 25 ℃、初始电池电压 3.67V 的测试条件下，单个多圈关节模组在 48V 主电源断开时的电池电流为 4μA；主电源接通时测得为 0μA。图 10-1 给出电池在 25 ℃下的放电特性。

电池电压不足会影响多圈位置保持。出现电池相关报警时，请按第 10.4 节排查；更换电池及复位负载端编码器的要求见第 10.2 节和第 9.4 节。放电曲线不作为固定更换周期的依据。

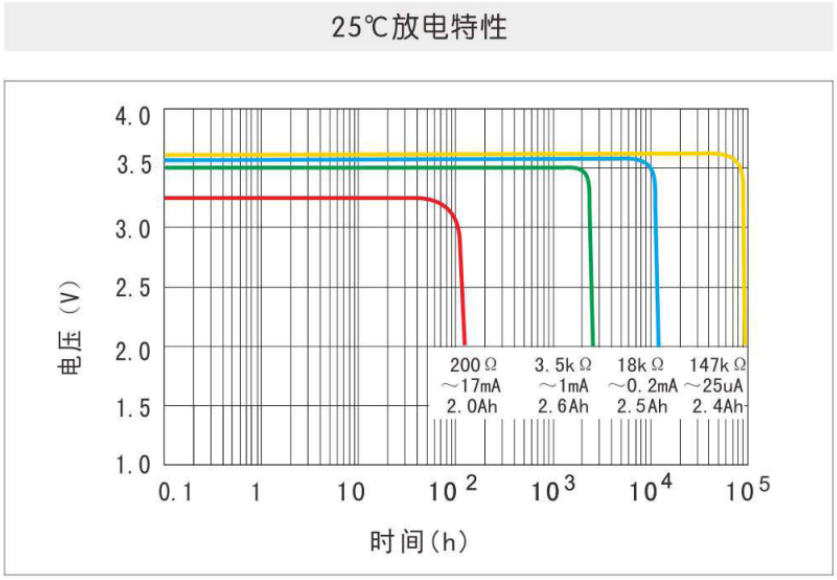


图 10-1 多圈电池 25 ℃放电特性曲线

10.4 电池相关报错处理

电池相关报错处理见下表 10-1。

表 10-1 电池相关报错处理查询表

0x603F 上报的错误代码	提示信息	直接原因	可能问题原因	排查处理
0x730D	电池警告错误（*1）	负载编码器多圈保持用电池电压低于警告电压 3.15V	1. 电池正常消耗至低压报警 2. 使用了错误的电池 3. 电池线路异常导致过快的损耗	1. 更换新电池并执行正确的复位操作（*2） 2. 更换正确的电池并执行正确的复位操作（*2） 3. 检查线缆，更换新电池并执行正确的复位操作（*2）
0x730F	电池电压低	负载编码器多圈保持用电池电压低于工作电压 3.05V	1. 电池消耗至低压报警后并继续使用消耗至错误报警电压 2. 使用了错误的电池 3. 电池线路接触不良 4. 未连接电池	1. 更换新电池并执行正确的复位操作（*2） 2. 更换正确的电池并执行正确的复位操作（*2） 3. 检查线缆，更换新电池并执行正确的复位操作（*2） 4. 安装电池并执行正确的复位操作（*2）
0x7314	检测到掉电状态信息	负载编码器多圈保持用电池电压高于工作电压 3.05V 以上情况下负载编码器经历过电池更换	1. 负载编码器经历过电池更换操作 2. 负载编码器电池接线松动	1. 执行正确的复位操作（*2） 2. 检查负载编码器连线，执行正确的复位操作（*2）
0x7374	多圈位置错误	负载编码器多圈保持用电池电压高于工作电压 3.05V 以上情况下负载编码器经历过电池更换	1. 负载编码器经历过电池更换操作 2. 负载编码器电池接线松动	1. 执行正确的复位操作（*2） 2. 检查负载编码器连线，执行正确的复位操作（*2）

（*1）模组报电池警告错误时不会丢失多圈数据。

（*2）正确的复位操作方法详见本手册第 9.4 节，连接我司 eTuner 安装调试软件，打开编码器界面点击重置负载端编码器按钮，然后重新确认设备零点。

软件适用：上述复位步骤适用于 eTuner。eTunerII 的“重置负载端编码器”见附录 4（A4.5）；两种操作完成后均需重新确认设备零点。

十一、 多圈编码器电池欠压报警功能说明（多圈配置）

状态说明：

（1）电池状态：“0”为编码器电池供电电压低于 3.05V，“1”为编码器电池电压正常供电，“×”为任意状态。

（2）48V 状态：“0”为模组 48V 不供电，“1”为模组 48V 电源供电。

11.1 48V 电源从关闭到已启动时的状态（$0 \rightarrow 1$）

情况 1：

	前一次状态	本次启动
电池	1	1
48V	0	$0 \rightarrow 1$
状态	OK	OK

描述：前一次状态是不存在报错的情况，模组启动是正常的，本次启动 CAN 和 EtherCAT 不上报错误。

情况 2：

	前一次状态	本次启动
电池	×	0
48V	0	$0 \rightarrow 1$
状态	×	NG

描述：前一次状态是任意状态，在模组启动时电池是没电的，本次启动 CAN 和 EtherCAT 上报错误“多圈掉电告警”，多圈丢失，但是伺服驱动器可使能。

情况 3：

	前一次状态	启动前	本次启动
电池	1	$1 \rightarrow 0 \rightarrow 1$	1
48V	0	0	$0 \rightarrow 1$
状态	OK	OK	NG

描述：前一次状态是不存在报错的情况，在模组启动前执行拔出电池再插回电池，且拔出时间约 8S（电容放电需要时间，可通过短接两端进行快速放电），本次启动 CAN 和 EtherCAT 上报错误“多圈掉电告警”，多圈丢失，但是伺服驱动器可使能。

11.2 48V 电源已启动时的状态（1）

情况 1：

	当前状态	在启动的状态下
电池	1	×
48V	1	1
状态	OK	OK

描述：若启动时当前状态为正常的，在启动的状态下电池的任意状态都不会出现报错，CAN 和 EtherCAT 不上报任何错误，多圈值不会丢失。

11.3 48V 电源启动到关闭再启动时的状态（$1 \rightarrow 0 \rightarrow 1$）

情况 1：

	当前状态	在启动的状态下	模组进行重启
电池	1	$1 \rightarrow 0$	0
48V	1	1	$1 \rightarrow 0 \rightarrow 1$
状态	OK	OK	NG

描述：若启动时当前状态为正常的，在启动的状态下电池的电压降至 3.05V 以下，CAN 和 EtherCAT 不上报任何错误，多圈值不会丢失，当模组进行重启后，CAN 和 EtherCAT 上报错误“多圈掉电告警”，多圈丢失，但是伺服驱动器可使能。

情况 2：

	当前状态	在启动的状态下	模组进行重启
电池	1	$1 \rightarrow 0 \rightarrow 1$	1
48V	1	1	$1 \rightarrow 0 \rightarrow 1$
状态	OK	OK	NG

描述：若启动时当前状态为正常的，在启动的状态下电池的电压降至 3.05V 以下，CAN 和 EtherCAT 不上报任何错误，多圈值不会丢失，当模组进行重启后，CAN 和 EtherCAT 上报错误“多圈电池欠压”，多圈丢失，但是伺服驱动器可使能。

十二、 减速比的解析

12.1 减速比分析

关节模组中的输出端是电机通过减速机后输出的，而电机端速度换算到输出端速度需要通过减速比计算，公式是：

12.1.1 输出转速计算

$RPM_{输出端} = RPM_{电机端} \div (X+1)$

$RPM_{输出端}$ 是输出端速度，单位：转/分；

$RPM_{电机端}$ 是电机端速度，单位：转/分；

X 是减速比，之所以要除以（X+1）是和减速机采用波发生器输入，刚轮输出，柔轮固定的安装方式有关。

12.1.2 速度设定与角速度换算

软件适用：图 12-1 为 eTuner 速度设定界面；eTunerII 使用“运动调试 → 参数给定”，参见附录 4（A4.6）。下述公式按所列编码器配置使用，不能因更换软件而直接改变分辨率。

关于速度设定和速度转换：

模组中有两个编码器，电机端编码器（17 位）和负载端编码器（19 位）。模组是开启全闭环运行，所以运行速度设定是直接设定输出端的转速，速度反馈是输出端的转速反馈。



图 12-1 速度设定界面

1、关节速度单位（count/s）的转速 V 和国际单位（RPM）的转速 N 转换公式：

$$N = \frac{V}{524288} \times 60$$（524288 为负载端 19 位编码器的分辨率）

2、关节速度单位（count/s）的转速 V 和角度单位（°/s）的转速 D 转换公式：

$$D = \frac{V}{524288} \times 360$$

3、关节速度单位（count/s）的转速 V 和弧度单位（rad/s）的转速 R 转换公式：

$R = \frac{V}{524288} \times 2\pi$

4、加（减）速度设定：推荐加（减）速时间 ≥0.3s，加速时间为关节从 0 速到达目标速度所需的时间，减速时间为关节从目标速度到达 0 速所需的时间，速度与加（减）速度关系：

$加(减)速度 = \frac{目标速度}{加(减)速时间}$

5、各规格族代号的最大转速如表 12-1 所示。

表 12-1 各规格族代号最大转速

规格族代号	减速比	输出端最大转速（count/s）	输出端最大转速（RPM）	输出端最大转速（°/s）	推荐加速/减速时间（s）
eRob70F	50	524288	60	360	≥0.3
eRob70F	80 (V3)	327680	37.5	225	≥0.3
eRob70F	100	262144	30	180	≥0.3
eRob70H	50	524288	60	360	≥0.3
eRob70H	80	327680	37.5	225	≥0.3
eRob70H	100	262144	30	180	≥0.3
eRob70H	120	218453	25	150	≥0.3
eRob80F	50	524288	60	360	≥0.3
eRob80F	100	262144	30	180	≥0.3
eRob80H	50	524288	60	360	≥0.3
eRob80H	80	327680	37.5	225	≥0.3
eRob80H	100	262144	30	180	≥0.3
eRob80H	120	218453	25	150	≥0.3
eRob90H	50	524288	60	360	≥0.3
eRob90H	80	327680	37.5	225	≥0.3
eRob90H	100	262144	30	180	≥0.3
eRob90H	120	218453	25	150	≥0.3
eRob110H	50	524288	60	360	≥0.3
eRob110H	80	327680	37.5	225	≥0.3
eRob110H	100	262144	30	180	≥0.3
eRob110H	120	218453	25	150	≥0.3
eRob110H	160	163840	18.75	112.5	≥0.3
eRob142H	50	349525	40	240	≥0.3
eRob142H	80	218453	25	150	≥0.3

表 12-1 各规格族代号最大转速（续）

规格族代号	减速比	输出端最大转速（count/s）	输出端最大转速（RPM）	输出端最大转速（°/s）	推荐加速/减速时间（s）
eRob142H	100	174763	20	120	≥0.3
eRob142H	120	145927	16.7	100.2	≥0.3
eRob142H	160	109227	12.5	75	≥0.3
eRob170H	50	349525	40	240	≥0.3
eRob170H	80	218453	25	150	≥0.3
eRob170H	100	174763	20	120	≥0.3
eRob170H	120	145927	16.7	100.2	≥0.3
eRob170H	160	109227	12.5	75	≥0.3

十三、 连接 eTuner 安装调试软件

软件适用：本章驱动安装、连接步骤和截图适用于 eTuner，以 V13.72 为示例。eTunerII 的安装连接、参数保存和工作台总览见后续第 14 章；必要的软件差异见附录 4。接线要求共用，软件操作按所用版本选择。

13.1 eTuner：安装与连接

第一步：eRob 调试器接线。PE 不接，L 接 CAN_L，G 接 CAN_GND，H 接 CAN_H，R 拨码开关 1 或者 2 的其中一个拨到 ON，另一个不拨，然后将调试器与关节连接。

注：更多关于 eRob 调试器的功能介绍和使用注意事项请访问我司官网“eRob 调试器”网页下载并查看《eRob 调试器使用说明书》。

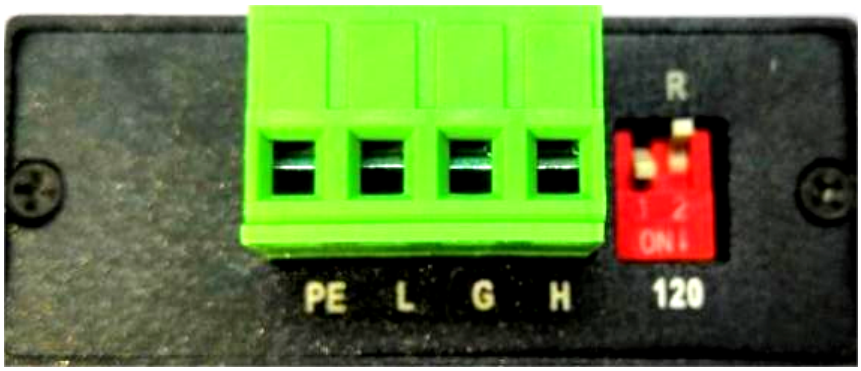


图 13-1 eRob 调试器接口图

第二步：USB 转 CAN 驱动安装。在我司官网下载所需版本的 eTuner 安装调试软件，解压压缩包，打开文件夹：eTuner_V13.72\Driver_installation，鼠标双击驱动程序进行驱动安装（如图 13-2）。



图 13-2 eRob 调试器驱动安装

第三步：打开 eTuner 软件，如图 13-3 所示，按照以下步骤连接关节。

图 13-3 eTuner 安装调试软件连接步骤	
	1、点击连接设置，打开连接界面； 2、点击连接测试，等待扫描结束； 3、点击加入列表； 4、点击列表中的已加入的设备； 5、点击连接； 6、连接成功，并显示关节 CAN ID。 注：设备已加入列表则只需重复 步骤 4、5、6。

十四、 eTunerII 安装调试软件（新版）

14.1 使用范围与帮助文档

本章集中介绍 eTunerII 的安装连接、参数保存、工作台入口和常用功能索引。使用 eTuner 时，按第 13 章及各功能章节中的 eTuner 步骤和图片操作；使用 eTunerII 时，从本章进入，再按对应功能章节及随附帮助操作。设备接线、供电、机械行程、负载条件和固件要求继续按本手册执行。

查阅具体软件操作

点击 eTunerII 标题栏的“帮助文档”，或使用浏览器打开软件包中的 help/index.html。离线查阅时保留完整 help 目录及其 images 子目录。详细步骤和界面图按第 14.5 节的索引查阅；必要的软件差异另见附录 4。

本章界面图仅作操作示例。请结合所用软件版本的随附帮助操作；两款软件的功能、信号名称与参数文件不能直接假定完全等价。

14.2 安装与连接

接线要求按第 6 章和第 13.1 节执行。eTunerII 的 USB 转 CAN 驱动路径示例为 drivers/erob/DriverSetup64.exe，安装时保留同目录配套文件；新版驱动目录与 eTuner 示例不同。

启动 etuner2.exe，在设备选择页展开“扫描设备”，选择设备类型 eRob、通信方式 CAN，执行“扫描并添加”，再点击目标设备卡片连接。进入工作台后，在“设备信息”中核对型号、固件版本及 CAN ID。

详细操作：随附帮助第 01、02 节“使用前准备”“首次连接”。设备卡片是本地记录，不表示设备当前在线；断开、重连和切换设备按帮助操作。连接差异另见附录 4（A4.2）。

14.3 参数编辑与保存

从“设备参数”进入相应分组；编辑后在“参数管理”核对全部待应用修改，执行“应用”，成功后点击主导航“保存参数”，等待保存成功。

保存范围：编辑只是本地草稿；“应用”会提交所有分组的有效草稿；“保存参数”才写入设备 Flash。只修改输入框或只等待约 3 秒均不能作为保存成功的判断。刹车及编码器直接命令按A4.4、A4.5节的单独要求执行。详细操作见随附帮助第 05 节“编辑与保存参数”。

14.4 工作台总览与主要入口

下图以“状态监控”页展示连接后的新版工作台。左侧红框中的“**设备信息**”用于核对型号、固件版本及 CAN ID，“**设备参数**”用于进入各参数分组，“**运动调试**”用于关节试运行和激励，“**示波器**”用于波形采集，“**自检**”用于执行测试并查看记录。



图 14-1 eTunerII 工作台总览（状态监控页）

截图用于识别界面与入口，图中状态、数值和波形均为示例，不作为推荐参数或验收指标。

继续操作：位置反馈见第 9.2 节，试运行见第 15.2 节，PID 与示波器见第 16.4 节，自检见第 27.3 节。各功能章节提供对应界面图；具体软件步骤按第 14.5 节查阅帮助。

14.5 常用功能与帮助索引

先按本手册对应章节确认产品条件，再查阅软件帮助。下表将常用任务与帮助章节、差异说明对应，帮助文件入口见第 14.1 节。

使用任务	随附帮助	本手册相关内容
准备与连接	第 01、02 节：使用前准备；首次连接	第 14.2 节；A4.2
设备信息与 CAN ID	第 04 节：设备信息与 CAN ID	第 27.1 节；A4.10
参数编辑与保存	第 05 节：编辑与保存参数	第 14.3 节；A4.3
刹车与编码器操作	第 05 节：释放与启用刹车、编码器重置等对应内容	第 7、9 章；A4.4、A4.5
参数文件导入与导出	第 06 节：导入与导出参数文件	A4.12
关节试运行	第 07 节：运动调试	第 15.2 节；A4.6
PID、激励与录波	第 05、07、09 节：编辑与保存参数；运动调试；设备录波与导出	第 16.4 节；A4.7
位置、状态与故障	第 10 节：状态与故障诊断	第 9、27 章；A4.5、A4.11
自检与测试记录	第 11 节：自检与测试记录	第 27.3 节；A4.11
恢复出厂参数	第 12 节：恢复出厂参数	第 21 章；A4.12
STO 与脉冲方向控制	第 05、10 节及对应参数说明	第 22、25 章；A4.8、A4.9

14.6 需要区分的软件行为

- **运动与停止：**“停止运动”本身不等于下使能；停止按钮、点动方式及运动限制的差异见A4.6。试运行条件继续按第 15 章执行。
- **信号与单位：**不同位置反馈信号不能互相代替，不能直接将读数当成角度；速度、加减速度及采样间隔应核对软件单位，见A4.5至A4.7。
- **参数与记录：**设备 Flash 中的保存与电脑上的参数文件导出不同；不能直接假定 eTuner 文件与 eTunerII 兼容。导出范围见A4.12，测试记录与故障取证见A4.11。

十五、 关节试运行

软件适用：第 15.1 节运动界面、按钮和步骤适用于 eTuner，第 15.2 节为 eTunerII 界面与入口。新版详细差异见附录 4（A4.6）；两款软件的停止按钮、点动方式及运动限制入口分别说明。

15.1 eTuner：试运行

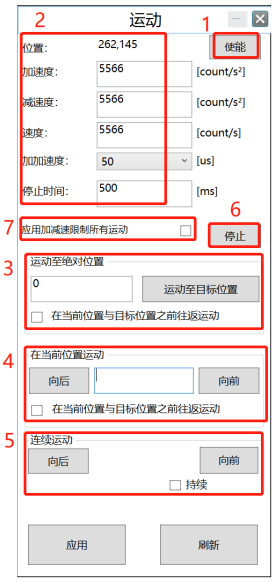


图 15-1 软件运动界面

界面介绍：

1、点击“使能”按钮，电机使能并自动释放制动器。

2、关节输出端的当前位置显示和速度参数设定，数值是以编码器分辨率为单位。加加速度是设置加速度从 0 到达设定加速度的时间（设置值越大越接近 S 型速度曲线，越小越接近 T 型速度曲线），默认设定 50us，停止时间是设置点对点往返运动折返时的停留时间。

3、设定目标位置，使电机运动至目标位置，勾选往返使电机在当前位置与目标位置之间往返运动。

4、设定相对运动位移值，使电机向前或向后移动一段设定的位移值，勾选往返使电机在当前位置以设定的位移做往返运动。

5、不勾选持续时点击“向前”或“向后”点动运动，勾选持续后点击“向前”或“向后”按钮使电机连续运动。

6、以设定减速度减速停止，但电机不失能，制动器不会闭合。

7、限速功能：“应用加减速限制所有运动”勾选时，关节运动同时受限于运动界面设定的加减速度、速度限制以及安全速度界面设定的最大允许速度限制，当运动界面的“应用加减速限制所有运动”不勾选时，关节运动仅受限于安全速度界面设定的最大允许速度限制。

电机空载试运行步骤：

1、核对速度参数不超过最大允许速度（查看安全速度界面），建议一开始请先设定低转速运行。

2、运动前先点击“使能”，确认制动器已释放（释放时会有“哒”的一声）。

3、点击持续运动中的“向前”，电机向前运动，观察电机运行状态。

4、点击停止，电机减速停止（注：运行中不可以直接点击主界面的马达停止）。

5、点击软件主界面中的“马达停止”，电机失能且制动器闭合，试运行完毕。



图 15-2 软件主界面马达停止按钮

15.2 eTunerII（新版）：运动调试

使用 eTunerII 时，先核对“**设备参数 → 安全速度**”中的限制，再进入“**运动调试 → 参数给定**”。试运行前确认模组可靠固定、负载及运动空间满足条件，先设低转速；速度换算仍按第 12 章执行。

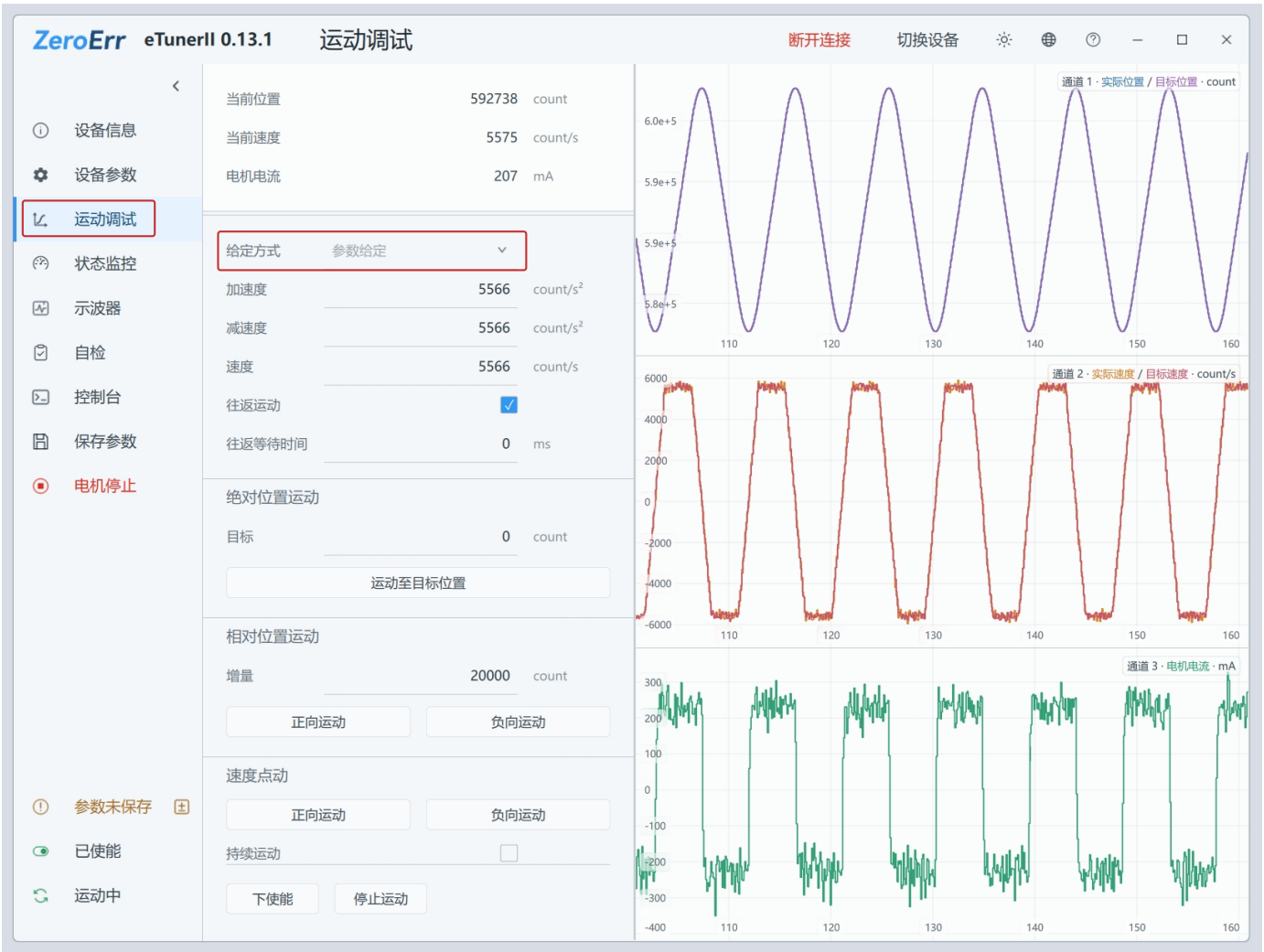


图 15-3 eTunerII 运动调试（浅色界面）

截图用于识别界面与入口，图中状态、数值和波形均为示例，不作为推荐参数或验收指标。

左侧为参数给定、位置运动和速度点动入口，右侧为曲线观察区。新版停止按钮、点动和运动限制的差异见附录 4（A4.6）；完整操作查阅随附帮助第 07 节“运动调试”。

十六、 带负载后的 PID 整定

软件适用：本章介绍 eTuner 的 PID、激励和示波器操作及图片；eTunerII 界面与入口见第 16.4 节，录波及总线 PID 切换的差异见附录 4（A4.7）。负载放置、整定原则和适用参数条件共用。

带负载后只需要整定速度环和位置环的 PID（电流环参数在出厂已设置好不需修改），首先打开 eTuner 安装调试软件主界面示波器和 PID 设置，点击如图 16-1 所示图标按钮。



图 16-1 主界面 PID 设置和示波器

【注意事项】:

进行 PID 整定前，需先确认如图 16-2 所示参数，控制模式界面“运行模式”应设置为“位置控制”，“控制源”设置为“0-不使用”，需在关节下使能状态下进行设置（在主界面点击“马达停止”按钮则关节下使能），设置完后点击界面下方“应用”按钮立即生效，否则关节将不会运转。

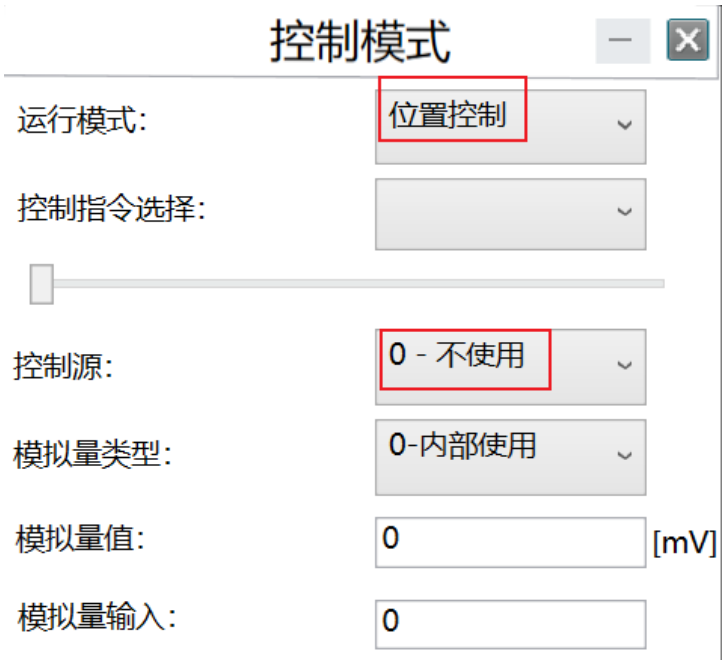


图 16-2 控制模式界面参数设置

进行 PID 整定前，应先将负载位置调整到合适位置，例如关节水平安装（输出轴轴心与地面平行时），负载位置应尽量调整到竖直位置（即负载力臂方向与地面垂直），然后再进行 PID 整定。

16.1 速度环调节

首先在示波器界面选择目标速度（限幅）、实际速度为观察源，采样间隔为 500 微秒/点，采样时长为 2s，以目标速度（限幅）作为触发源，触发条件为不等于 0 且触发位置选择在 0%，并点击“开始采集”按钮，使示波器处

于“等待触发”状态，如图 16-3 所示。



图 16-3 示波器设置

在 PID 设置界面（如图 16-4）设置速度环激励速度类型为方波，激励频率，推荐使用 1Hz，激励速度一般设定为（524288/减速比），PID 在原有基础值上去调节，点击“激励速度”按钮；此时电机会响应跟随激励速度且示波器会进行数据采集。

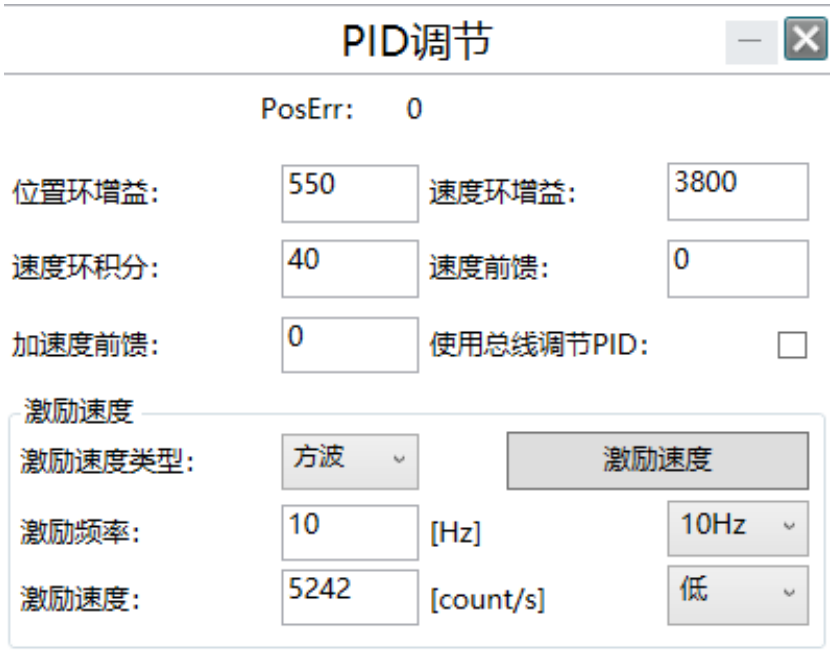


图 16-4 PID 设置界面激励速度

先调整增益，波形在刚好超调一点，但是未出现过大的震荡即可。然后调节积分，积分数值一般不用给太高，适当消除震荡即可。方波激励最终波形应该接近图 16-5 的波形。

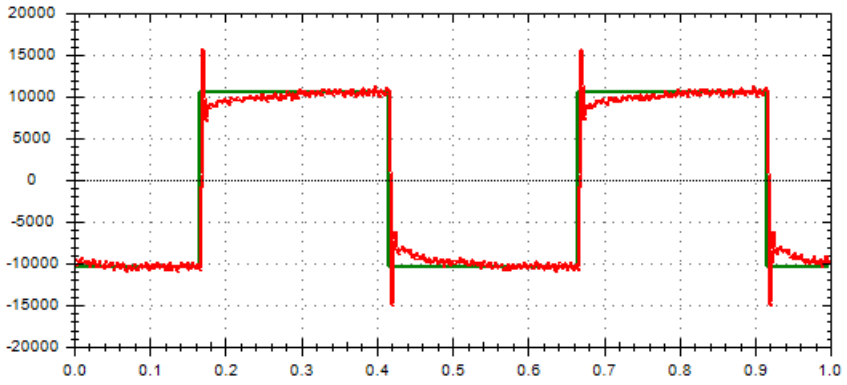


图 16-5 速度环方波激励响应波形

调节完毕后，主界面点击“马达停止”按钮，然后在 PID 设置界面左下角点击“应用”按钮，并在主界面中点击“保存”按钮用于将参数进行保存（约 3s 后保存完成），以防止驱动器重启后还原为原来参数。

速度环激励类型可选择正弦波激励，正弦波激励最终波形应该接近图 16-6 的波形。

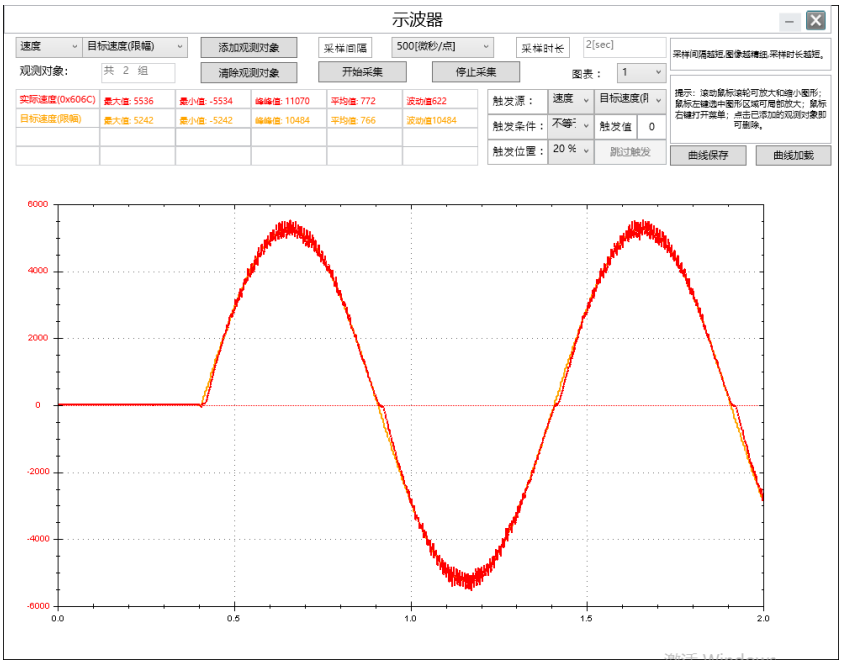


图 16-6 速度环正弦波激励波形

16.2 位置环调节

首先在示波器界面选择目标位置（限幅）、实际位置为观察源，采样间隔为 500 微秒/点，采样时长为 2s，以目标速度（限幅）作为触发源，触发条件为不等于 0 且触发位置选择在 0%，并点击“开始采集”按钮，使示波器处于“等待触发”状态，如图 16-7 所示：



图 16-7 示波器设置

在 PID 设置界面（如图 16-8）设置激励频率，推荐使用 1Hz，激励位置一般设置为（52428/减速比），PID 在原有基础值上去调节，点击“激励位置”按钮；此时电机会响应跟随激励位置且示波器会进行数据采集。



图 16-8 PID 设置界面激励位置

调整增益，最终波形应该接近图 16-9 的波形

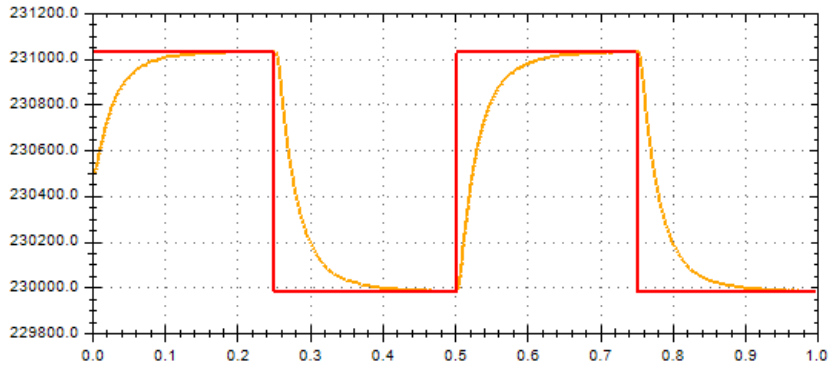


图 16-9 位置环方波激励响应波形

调节完毕后，主界面点击“马达停止”按钮，然后在 PID 设置界面左下角点击“应用”按钮，并在主界面中点击“保存”按钮用于将参数进行保存（约 3s 后保存完成），以防止驱动器重启后还原为原来参数。

位置环激励类型可选择正弦波激励，正弦波激励最终波形应该接近图 16-10 的波形。

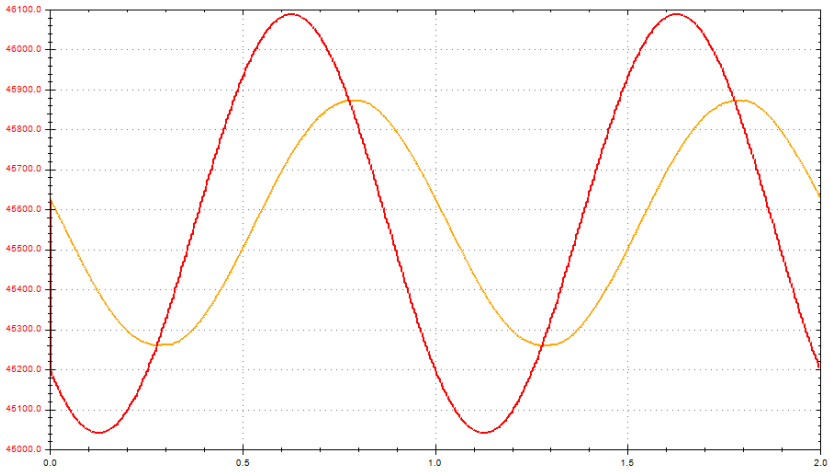


图 16-10 位置环正弦波激励波形

16.3 EtherCAT 动态修改 PID 功能

除了通过 eTuner 安装调试软件可修改 PID 参数外，还可通过 EtherCAT 通信动态修改 PID 参数。首先需在 eTuner 安装调试软件 PID 调节界面勾选“使用总线调节 PID”功能并应用保存（如图 16-11 所示），否则修改无效。然后通过 SDO 访问 2381h：01h（速度环增益）、2381h：02h （速度环积分）、2382h：01h（位置环增益）即可动态修改 PID 参数（电流环参数未开放修改，出厂已设置好不需修改）。

使用总线调节 PID 注意事项：

当需要使用 EtherCAT 修改 PID 参数的时候，则需要使用 eTuner 安装调试软件勾选“使用总线调节 PID”的选项，否则将无法使用 EtherCAT 修改 PID 参数。

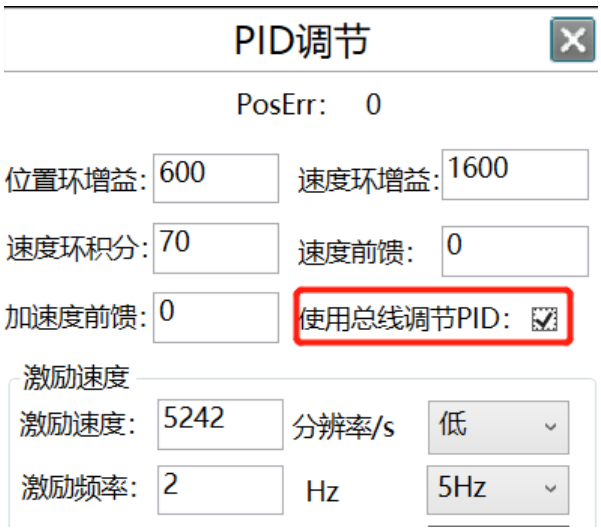


图 16-11 勾选使用总线调节 PID

使用 EtherCAT 修改 PID 参数，之后若需要使用 eTuner 安装调试软件对 PID 参数进行修改，则需要进行如下操作，避免 eTuner 安装调试软件修改 PID 无法生效，变成介于原始值与目标值之间的值：

①先对“使用总线调节 PID”取消勾选；

②应用保存；

③重新进入 PID 调节界面进行修改 PID 参数。

EtherCAT 动态修改 PID 功能所涉及的相关对象字典描述详见《eRob CANopen and EtherCAT 用户手册》第 8.2 节。

16.4 eTunerII（新版）：PID 与示波器入口

eTunerII 将参数、激励和波形采集分为三个入口：PID 参数在“**设备参数 → PID**”，激励在“**运动调试 → 曲线给定**”，完整波形采集在主导航“**示波器**”。负载放置、整定原则和适用参数条件仍按本章执行。

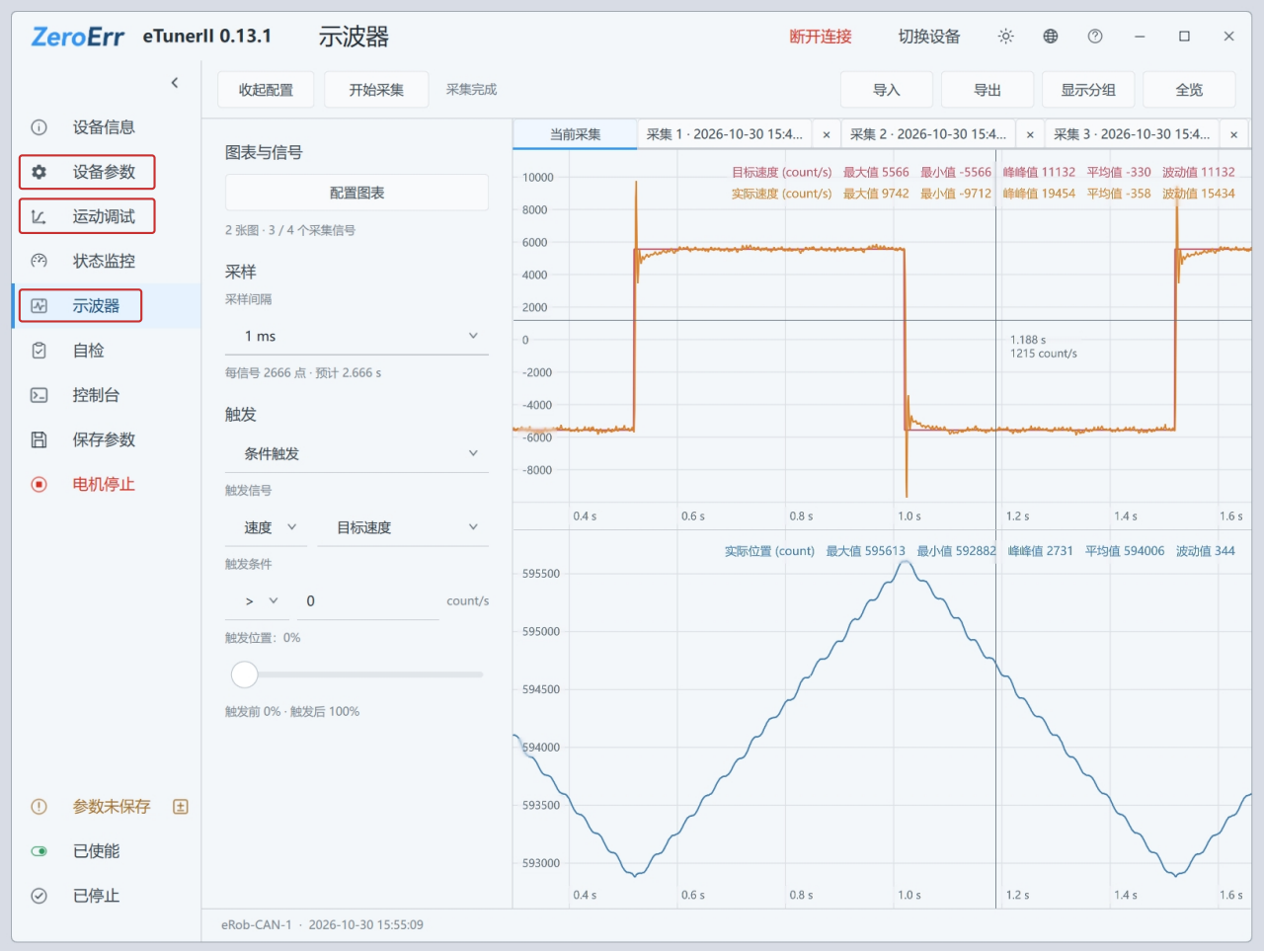


图 16-12 eTunerII 示波器（浅色界面）

截图用于识别界面与入口，图中状态、数值和波形均为示例，不作为推荐参数或验收指标。

左侧为图表、采样与触发设置，右侧为采集波形；上方提供开始采集、导入和导出入口。详细操作查阅随附帮助第 09 节“设备录波与导出”和第 07 节“运动调试”；与 eTuner 的信号及操作差异见附录 4（A4.7）。

十七、 特殊功能说明

17.1 PDO 动态配置功能

eRob 系列 EtherCAT PDO 映射的预定义列表中，0x1A00/0x1600 映射 TxPDO/RxPDO 支持任意 mapping 配置（TxPDO、RxPDO 最大字节数各为 76 字节），包括但不限于 TxPDO：6041h、6064h、606Ch、6061h 等，RxPDO：6040h、607Ah、6065h、6060h 等。

说明：因 ESC 芯片特性，若需配置一个 8 位长度对象索引（如 6060h / 6061h），则需同时配置一个空 8 位（bit8）以 2 字节（16bit）对齐。

PDO 映射列表和映射注意事项详见《eRob CANopen and EtherCAT 用户手册》第 4.4 节。

17.2 可变积分上限的 PID 控制功能

通过 CAN 访问参数 ID：97（十进制）可对“速度环积分上限”参数（参数属性：INT32，不保存到 Flash，可读写，单位为 mA）进行读写操作，也可在关节运行时修改。

功能使用说明：

1. 将积分上限设为 0 可消除累积的速度环积分值。

2. 恢复积分限制的值为原来设定值的时候，会有冲击，建议平缓增加（每周期增加的合适值视实际运行平稳程度而定，建议从小到大给看实际效果）。

3. “可变积分上限的 PID 控制”除了可以消除积分为 0 外，合适的变积分上限会令伺服运行更稳定，容许更大的比例增益，更快的响应速度。

十八、 各方向受力允许值

18.1 确认最大负载静力矩

最大负载静力矩（M_{max}）的计算方法如下：

$$M_{max} = F_{r,max}(L_r + R) + F_{a,max}L_a \tag{17-1}$$

请确认 $M_{max} \leq M_c$，M_c 为容许静力矩，各型号数值见表 18-6。

表 18-1 公式 17-1 符号说明

符号	说明	单位	参考
Frmax	最大径向负载	N(kgf)	参照图 18-1
Famax	最大轴向负载	N(kgf)	参照图 18-1
Lr、La	–	m	参照图 18-1
R	偏置量	m	参照图 18-1 及表 18-6

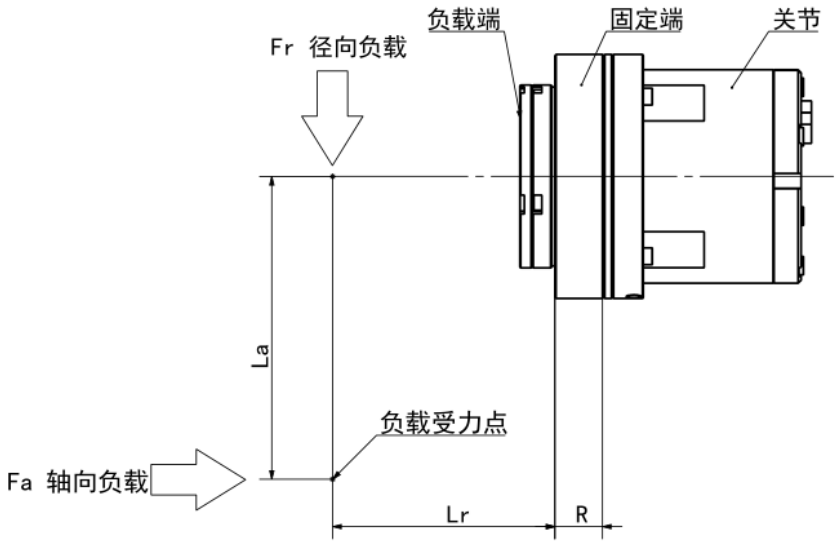


图 18-1 外部负载作用图

例：已知选用 eRob70H 规格族关节，La=0.2m,Lr=0.5m,Frmax=50N,Famax=30N。

查表 18-6 知：R=0.0217m，Mc=74Nm。

代入公式 Mmax=Frmax(Lr+R)+Famax ・La

Mmax=50×（0.5+0.0217）+30×0.2

Mmax=32.085Nm

因为：Mmax(32.085Nm)≤Mc(74Nm)，所以符合使用弯矩要求。

18.2 确认主轴承寿命

主轴承的使用寿命计算公式为：

$$L_{10} = \frac{10^6}{60 N_{\text{av}}} \left(\frac{C}{f_w P_c} \right)^{\frac{10}{3}} \tag{17-2}$$

表 18-2 寿命公式 17-2 符号说明

符号	说明	单位	参考
L10	使用寿命	Hour	——
Nav	平均输出转速	r/min	参照平均负载的计算方法
C	基本额定动负载	N(kgf)	参照表 18-6
Pc	径向当量动负载	N(kgf)	参照公式 17-3
fw	负载系数	——	参照表 18-4

$$P_c = X \left(F_{r,\text{av}} + \frac{2\left[F_{r,\text{av}}(L_r + R) + F_{a,\text{av}} L_a\right]}{d_p} \right) + Y F_{a,\text{av}} \tag{17-3}$$

表 18-3 径向当量动负载公式 17-3 符号说明

符号	说明	单位	参考
Frav	平均径向负载	N(kgf)	参照平均负载的计算方法，式 17-4
Faav	平均轴向负载	N(kgf)	参照平均负载的计算方法，式 17-5
X	径向负载系数	——	参照表 18-5
Y	轴向负载系数	——	参照表 18-5
dp	滚子的节圆直径	m	参照表 18-6
R	偏置量	m	参照表 18-6
Lr,La	——	m	参照图 18-1

表 18-4 负载系数 fw

负载状态	fw
无冲击和振动、平滑运转时	1~1.2
通常运转时	1.2~1.5
伴随冲击、振动运转时	1.5~3

18.2.1 平均负载计算

平均负载的计算方法。径向负载和轴向负载变动时，如图 18-2 所示，需换算为平均负载，确认轴承的使用寿命。

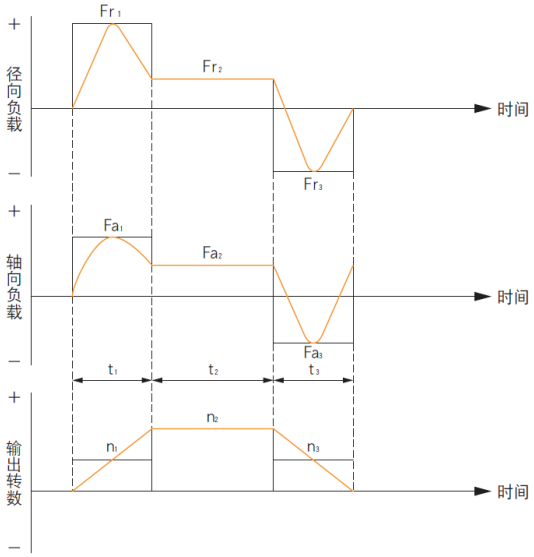


图 18-2 负载模式图

平均径向负载：

$$F_{r,\mathrm{av}}=\left(\frac{n_1t_1|F_{r1}|^{\frac{10}{3}}+n_2t_2|F_{r2}|^{\frac{10}{3}}+\cdots+n_nt_n|F_{rn}|^{\frac{10}{3}}}{n_1t_1+n_2t_2+\cdots+n_nt_n}\right)^{\frac{3}{10}} \tag{17-4}$$

平均轴向负载：

$$F_{a,\mathrm{av}}=\left(\frac{n_1t_1|F_{a1}|^{\frac{10}{3}}+n_2t_2|F_{a2}|^{\frac{10}{3}}+\cdots+n_nt_n|F_{an}|^{\frac{10}{3}}}{n_1t_1+n_2t_2+\cdots+n_nt_n}\right)^{\frac{3}{10}} \tag{17-5}$$

平均输出转数：

$$N_{\mathrm{av}}=\frac{n_1t_1+n_2t_2+\cdots+n_nt_n}{t_1+t_2+\cdots+t_n} \tag{17-6}$$

18.2.2 负载系数计算

径向负载系数（X）、轴向负载系数（Y）的计算方法，见表 18-5。

表 18-5 负载系数（X、Y）计算

负载系数计算公式	X	Y
$\dfrac{F_{a,\mathrm{av}}}{F_{r,\mathrm{av}}+\dfrac{2\left[F_{r,\mathrm{av}}(L_r+R)+F_{a,\mathrm{av}}L_a\right]}{d_p}}\leq 1.5$	1	0.45
$\dfrac{F_{a,\mathrm{av}}}{F_{r,\mathrm{av}}+\dfrac{2\left[F_{r,\mathrm{av}}(L_r+R)+F_{a,\mathrm{av}}L_a\right]}{d_p}}> 1.5$	0.67	0.67

表 18-6 各规格族代号规格及负载能力表

规格族代号	滚子节圆直径 dp	偏置量 R	基本动额定负载 C		基本静额定负载 Co		容许静力矩 Mc	
规格族代号	m	m	$\times 10^2$ N	kgf	$\times 10^2$ N	kgf	N • m	kgf • m
eRob70F	0.0503	0.0111	29	296	43	438	37	3.8
eRob70	0.05	0.0217	58	590	86	880	74	7.6
eRob80F	0.061	0.0115	52	530	81	826	62	6.3
eRob80	0.06	0.0239	104	1060	163	1670	124	12.6
eRob90	0.07	0.0255	146	1490	220	2250	187	19.1
eRob110	0.085	0.0296	218	2230	358	3660	258	26.3
eRob142	0.111	0.0364	382	3900	654	6680	580	59.1
eRob170	0.133	0.044	433	4410	816	8330	849	86.6

基本动额定负载 C：使交叉滚子轴承的基本动态额定寿命达到 100 万转的一定的静止径向负载。

基本静额定负载 Co：在承受最大负载的转动体和轨道的接触部中央位置，施加一定水平的接触应力（4 kN/mm^2）的静态负载。

容许力矩负重 Mc：对输出轴承可能施加最大的力矩载荷，如在此范围内，能够保持基本性能并可工作的数值。

18.3 确认静态安全系数

一般情况下将基本额定静负载（Co）认定为当量静负载的容许值，但可根据使用条件及要求条件确定其容许值。此时的静态安全系数（fs）使用公式 17-7 计算得出。

$$f_s = \frac{C_0}{P_0} \tag{17-7}$$

式中，Co 为基本额定静负载，Po 为径向当量静负载，可根据公式 17-8 计算得出。

$$P_0 = F_{r,\max} + \frac{2M_{\max}}{d_p} + 0.44F_{a,\max} \tag{17-8}$$

式中，Frmax、Famax、Mmax 参照表 18-1。不同使用条件下，静态安全系数的一般取值参照表 18-7 所示。

表 18-7 静态安全系数的一般数值

使用条件	fs
需要较高旋转精度时	≥3
伴随振动、冲击时	≥2
通常运转条件时	≥1.5

18.4 减速机棘爪扭矩

机器人关节模组运转中受到过度的冲击转矩作用时，在减速机柔轮等未发生破损的状态下刚轮和柔轮齿轮的啮合会瞬间发生偏移，这种现象被称为棘爪。此时的转矩被称为棘爪扭矩 (棘爪扭矩的数值参照下表 18-8)。如果发生棘爪现象仍继续使其运转，会由于棘爪发生时产生的磨损粉尘导致齿轮发生早期磨耗，缩短波发生器轴承的使用寿命。

表 18-8 机器人关节发生棘爪的扭矩值（单位：Nm）

型号 速比	eRob70F	eRob70	eRob80F	eRob80	eRob90	eRob110	eRob142	eRob170
50	88	88	150	150	220	450	980	1800
80	-	110	-	200	350	680	1400	2800
100	84	84	160	160	260	500	1000	2100
120	-	-	-	120	240	470	980	1900

齿轮啮合正常形态如图 18-3 所示。当发生棘爪时可能会出现齿轮啮合不正常，如图 18-4 所示，呈单侧偏移的状态。此时继续运转会发生振动，引起柔轮破损。

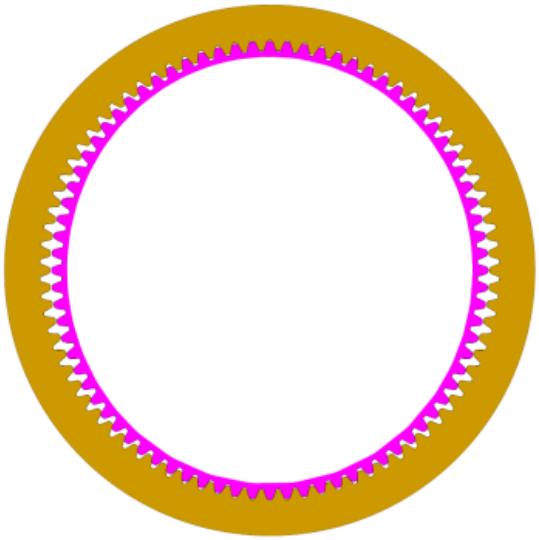


图 18-3 齿轮正常啮合示意图

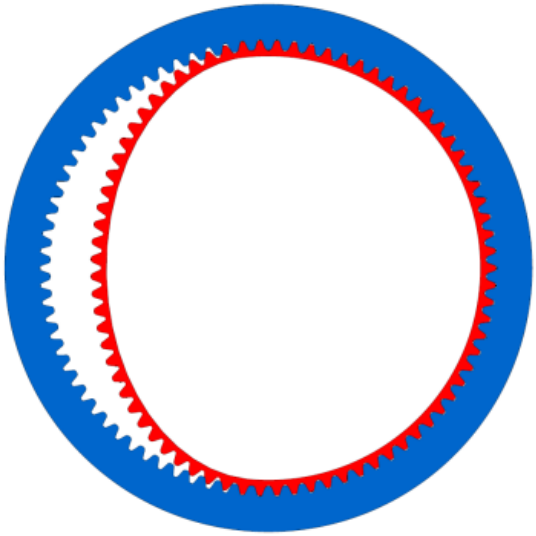


图 18-4 齿轮啮合偏移示意图

软件适用：下述示波器设置及图 18-5 为 eTuner 采集示例，用于解释波形特征。eTunerII 的采集入口与时长规则见附录 4（A4.7）及软件帮助第 09 节；图 18-5 不是 eTunerII 界面或新版采集结果。

以 eRob90H100I 为例，当发生棘爪时继续以速度 5242count/s（此时电机端转速为 1r/s）运转（当严重棘爪时关节为空载状态运行也可能出现报警），用示波器采集电机电流波形（如图 18-5 所示，示波器设置观察源为：电机电流、电机转角，采样间隔 1ms，采样时长 4s），可以看出电机电流呈现电机端转一圈出现一次较大电流波动。当发生棘爪时，若关节带负载继续运行，将出现电流过大、电机堵转保护、位置误差超限、速度误差超限、功率温度过高等报警。发生棘爪后的关节不可继续使用。

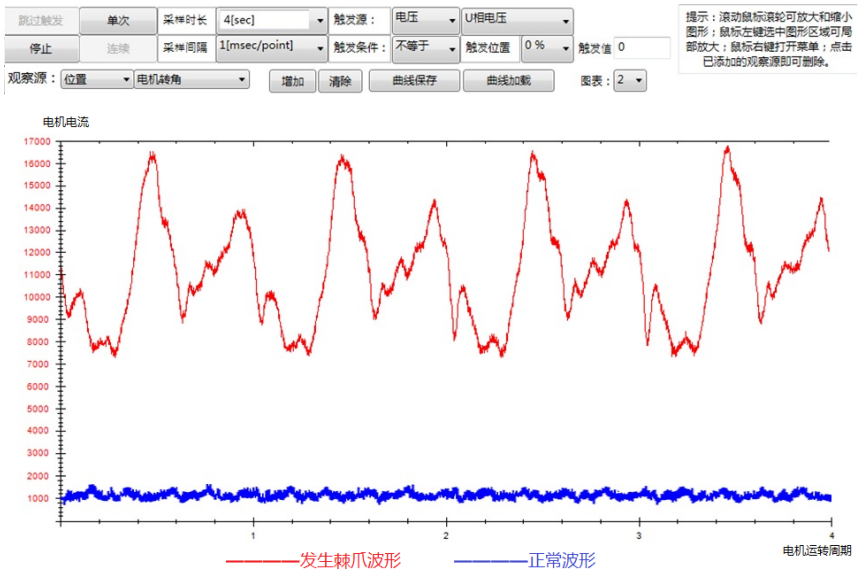


图 18-5 发生棘爪时电机电流波形

发生一次棘爪后齿顶会出现磨耗，如图 18-6 所示，正常形态如图 18-7 所示。发生两次以上时棘爪的发生转矩值将会降低。

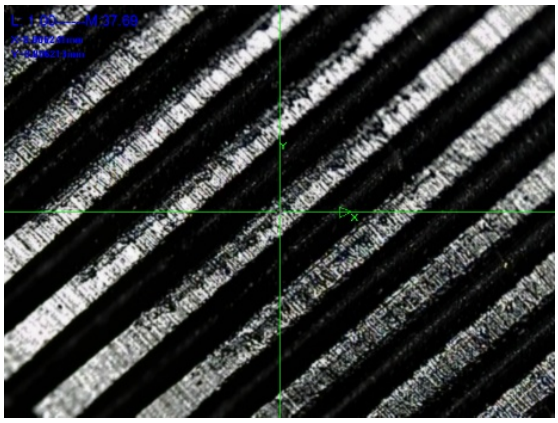


图 18-6 齿轮棘爪齿顶磨损图

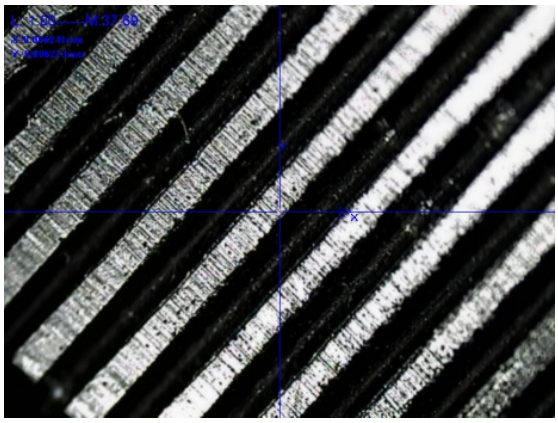


图 18-7 齿轮正常齿顶图

十九、 关节安装要求

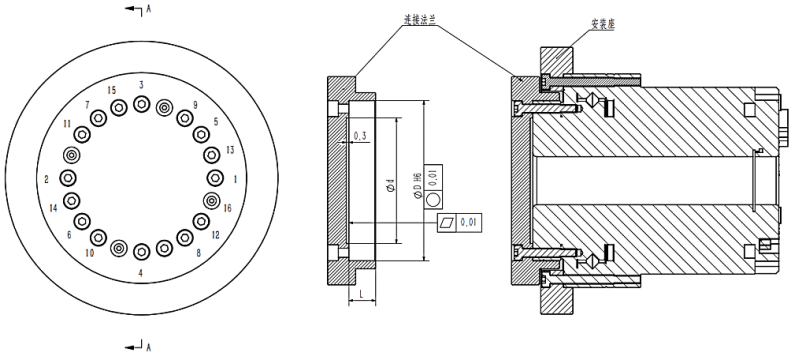


图 19-1 关节安装示意图

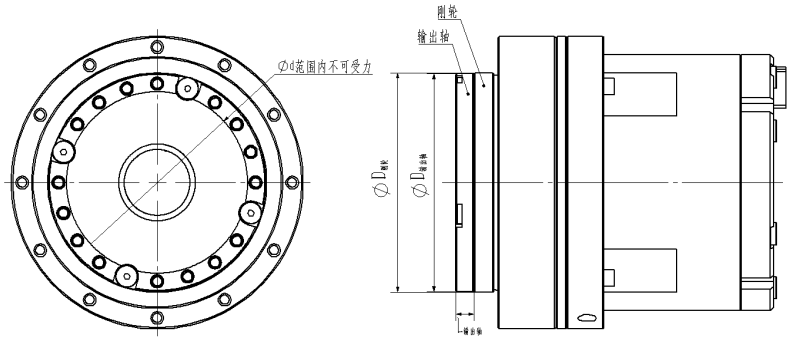


图 19-2 关节安装要求示意图

19.1 连接法兰止口要求

负载端止口的深度必须扣到图 19-1 图示位置，按规格族及适用结构版本选取表 19-1 中的安装止口深度 L。连接法兰端面不允许有披锋等凸起；注意钻孔易引起的孔口凸起，批锋等；且法兰设计必须有 Φd 深 0.3 的避空位，关节模组输出轴 Φd 范围内不可受力（如图 19-2 所示），如因客户法兰设计不到位导致输出轴 Φd 范围内受力造成的模组损坏，不在保修范围内。

表 19-1 安装尺寸要求

结构版本代号	D 输出轴 (mm)	D 刚轮 (mm)	L 输出轴 (mm)	D (mm)	L (mm)	d (mm)	止口圆度	止口平面度
eRob70F_V3	∅48.6	$\varnothing 49^{0}_{-0.016}$	3	$\varnothing 49^{+0.016}_{0}$	4.5	∅38.3	0.01	0.01
eRob70F_V4	∅48.6	$\varnothing 49^{0}_{-0.025}$	3	$\varnothing 49^{+0.016}_{0}$	4.5	∅38.3	0.01	0.01
eRob70I_V3	∅49.6	$\varnothing 50^{0}_{-0.016}$	4	$\varnothing 50^{+0.016}_{0}$	6	∅39	0.01	0.01
eRob70I_V4 / _V5	∅49.6	$\varnothing 50^{0}_{-0.016}$	4	$\varnothing 50^{+0.016}_{0}$	6	∅39	0.01	0.01
eRob80F_V4	∅58.5	$\varnothing 59^{0}_{-0.019}$	5	$\varnothing 59^{+0.019}_{0}$	6	∅46	0.01	0.01
eRob80I_V3 / _V4	∅59.6	$\varnothing 60^{0}_{-0.019}$	5	$\varnothing 60^{+0.019}_{0}$	7	∅49	0.01	0.01
eRob80I_V5 / _V6	∅59.6	$\varnothing 60^{0}_{-0.019}$	5	$\varnothing 60^{+0.019}_{0}$	7	∅49	0.01	0.01
eRob90I_V3 / _V6	∅69.6	$\varnothing 70^{0}_{-0.019}$	5	$\varnothing 70^{+0.019}_{0}$	7	∅56	0.01	0.01
eRob110I_V3	∅84.6	$\varnothing 85^{0}_{-0.022}$	5	$\varnothing 85^{+0.022}_{0}$	7	∅70	0.01	0.01
eRob110I_V4	∅84.6	$\varnothing 85^{0}_{-0.022}$	5	$\varnothing 85^{+0.022}_{0}$	7	∅70	0.01	0.01
eRob110I_V6	∅84.6	$\varnothing 85^{0}_{-0.022}$	6	$\varnothing 85^{+0.022}_{0}$	8	∅70	0.01	0.01
eRob142I_V3	∅109.6	$\varnothing 110^{0}_{-0.022}$	7	$\varnothing 110^{+0.022}_{0}$	9	∅91	0.01	0.01
eRob142I_V4	∅109.6	$\varnothing 110^{0}_{-0.022}$	7	$\varnothing 110^{+0.022}_{0}$	9	∅91	0.01	0.01
eRob170I_V3	∅134.6	$\varnothing 135^{0}_{-0.025}$	7	$\varnothing 135^{+0.025}_{0}$	10	∅102	0.01	0.01

表中 V3、V4、V5、V6 为结构版本；同一行中以“/”分隔的版本分别适用该行参数。请按铭牌完整型号获取对应 2D 安装图，确认结构版本后选用参数，不得仅按规格族代号套用。图纸标注的 MIN 表示最小安装止口深度。未列出的结构版本，请查对应 2D 安装图或联系技术支持确认。

【注意】:

1、未按照关节输出端连接法兰的安装要求，可能会导致输出轴发生变形，进而导致扭矩传感器无法正常工作，甚至发生不可逆的破坏。

2、L 长度要求是为了保证：（1）输出法兰的径向定位精度；（2）将负载力矩通过输出法兰止口传递到直接支撑外部负载的精密交叉滚子轴承上。

3、客户负载法兰止口圆度与平面度尽量达到或接近表 19-1 所要求数值，因圆度或平面度超差导致关节模组输出端受力不均匀，会导致关节模组异响或抖动。

4、客户负载法兰止口不能喷油漆，否则会引起平面度超差，导致关节模组输出端受力不均匀，从而导致安装在关节模组输出轴上的码盘发生偏移，导致断电重启后输出端编码器位置读数偏移。

19.2 安装座孔径推荐尺寸及公差

图 19-3 标注的 $\varnothing D$ 为安装座与关节模组配合处的内孔直径，其推荐尺寸及公差见表 19-2。请按对应的结构版本选用。

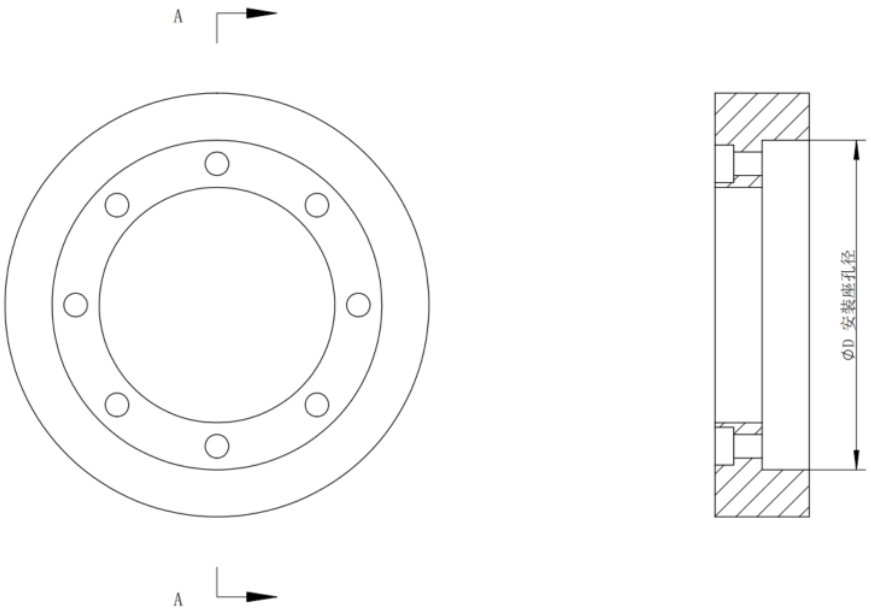


图 19-3 安装座孔径示意图

表 19-2 安装座孔径推荐尺寸及公差（单位：mm）

适用结构版本代号	推荐孔径	上偏差	下偏差
eRob70F_V3 / _V4 eRob70I_V4 / _V5	⌀70	+0.029	+0.010
eRob80F_V4 eRob80I_V5 / _V6	⌀80	+0.029	+0.010
eRob90I_V3 / _V6	⌀90	+0.034	+0.012
eRob110I_V4 / _V6	⌀110	+0.034	+0.012
eRob142I_V4	⌀142	+0.039	+0.014
eRob170I_V3	⌀170	+0.039	+0.014

注：本表尺寸及公差为推荐值，非强制要求，仅适用于表中列出的结构版本。

19.3 螺钉锁紧方法

装配前，应按对应安装要求核对螺纹规格、螺钉头型、实际有效啮合长度、盲孔底部余量和拧紧扭矩；对于表 19-4 列明的法兰安装或关节固定位置以及表 19-5 列明的关节后侧位置，按第 19.4 节选取参数。多颗螺钉连接时，应采用分步、交叉均匀的顺序锁紧；存在成对对角位置时按对角顺序，无成对对角位置时按周向交错顺序。第一步将各螺钉旋入，直至圆柱头下支承面或沉头锥面与对应支承面贴合，但不施加最终拧紧扭矩；第二步分级、均匀预紧，确认各支承面均已贴合且连接件无翘曲；第三步使用扭矩工具将各螺钉拧紧至对应安装要求的规定值。表 19-4 所列位置按表 19-3 选取推荐拧紧扭矩和允许偏差；表 19-5 所列位置直接按表中规定值执行。

19.4 螺钉推荐拧紧扭矩及最小有效啮合长度

查表前确认

本节参数仅适用于表 19-4 和表 19-5 列明的安装位置。两表以结构版本代号（如 eRob70I_V4）区分安装结构。请按铭牌完整型号获取 2D 安装图，确认结构版本、安装位置、螺钉规格及头型，不得仅按螺钉公称直径选取参数。

1. 法兰安装与关节固定：先在表 19-4 确认最小有效啮合长度，再按相同螺钉规格及头型从表 19-3 选取推荐拧紧扭矩和允许偏差。
2. 关节后侧：直接按表 19-5 选取推荐拧紧扭矩、允许偏差及最小有效啮合长度。

任一条件不一致或无法确认时，不得套用本节参数；请按对应 2D 安装图或联系技术支持确认后再安装。产品随附专项安装规范另有规定时，以专项规范为准。

本节所称“有效啮合长度”，是指装配完成后，内、外螺纹完整牙型实际重合并参与承载的轴向长度，不包括入口倒角、沉孔、退刀槽和孔底不完整牙；不得以螺钉总长、盲孔总深度或攻丝深度代替有效啮合长度。确定实际有效啮合长度时，应取螺钉进入内螺纹件的轴向长度与内螺纹完整螺纹深度两者中的较小值，并扣除上述不参与承载的区段。装配前应根据对应型号 2D 安装图中的完整螺纹深度、连接件厚度及所选螺钉的安装尺寸确认实际有效啮合长度；图纸未列明时，应按产品配套螺钉规格装配，或向零差云控技术支持获取书面安装参数。

螺钉应为 12.9 级、氧化发黑的内六角螺钉。装配前应清除内、外螺纹、螺钉头支承面及安装接触面上的油污、金属屑和其他杂质，使用酒精清洁后待其完全风干；采用干式装配，不使用润滑剂、螺纹锁固剂或防咬合剂。按 18.3 节规定的分步、交叉均匀顺序，使用量程合适且在校准有效期内的扭矩工具完成拧紧。

表 19-3 螺钉推荐拧紧扭矩

螺纹规格	螺钉头型	推荐拧紧扭矩	拧紧扭矩允许偏差
M3×0.5	内六角圆柱头	2.0 N • m	±0.2 N • m
M3×0.5	内六角沉头	1.4 N • m	±0.2 N • m
M4×0.7	内六角圆柱头	4.5 N • m	±0.2 N • m
M4×0.7	内六角沉头	2.0 N • m	±0.2 N • m
M5×0.8	内六角圆柱头	9.0 N • m	±0.5 N • m
M5×0.8	内六角沉头	4.5 N • m	±0.2 N • m
M6×1.0	内六角圆柱头	15.5 N • m	±0.5 N • m

表 19-4 法兰安装及关节固定位置的最小有效啮合长度

规格及头型	适用结构版本代号及安装位置	最小有效啮合长度
M3×0.5 内六角圆柱头	eRob70I_V4、eRob70I_V5、eRob70F_V3、eRob70F_V4、eRob80I_V5、eRob80I_V6、eRob80F_V4、eRob90I_V3、eRob90I_V6 法兰安装	3.0 mm
M3×0.5 内六角圆柱头	eRob80I_V6、eRob80F_V4、eRob90I_V6 关节固定	4.0 mm
M3×0.5 内六角圆柱头	eRob70I_V4、eRob70I_V5、eRob70F_V3、eRob70F_V4 关节固定；eRob70T_V4、eRob80T_V5、eRob90T_V3 法兰安装	4.5 mm
M3×0.5 内六角圆柱头	eRob80I_V5、eRob90I_V3 关节固定	4.5 mm
M3×0.5 内六角沉头	eRob90T_V3 法兰安装	3.0 mm
M4×0.7 内六角圆柱头	eRob110I_V4、eRob110I_V6 法兰安装	3.5 mm
M4×0.7 内六角圆柱头	eRob110I_V6 关节固定	3.5 mm
M4×0.7 内六角圆柱头	eRob110I_V4 关节固定	6.0 mm
M4×0.7 内六角圆柱头	eRob110T_V4 法兰安装	5.0 mm
M4×0.7 内六角沉头	eRob110T_V4 法兰安装	3.0 mm
M5×0.8 内六角圆柱头	eRob142I_V4 法兰安装	6.5 mm
M5×0.8 内六角圆柱头	eRob142I_V4 关节固定	7.5 mm
M5×0.8 内六角圆柱头	eRob142T_V4 法兰安装	6.5 mm
M5×0.8 内六角沉头	eRob142T_V4 法兰安装	4.0 mm
M6×1.0 内六角圆柱头	eRob170I_V3 法兰安装	6.0 mm
M6×1.0 内六角圆柱头	eRob170I_V3 关节固定	10.0 mm

注：M6 内六角沉头螺钉不在本节适用范围内。沉头螺钉不得套用同规格圆柱头螺钉的推荐拧紧扭矩。

关节后侧螺钉拧紧参数

关节后侧位置应按结构版本代号和实际安装位置在表 19-5 中直接选取推荐拧紧扭矩、允许偏差和最小有效啮合长度，不得套用表 19-3 与表 19-4 中法兰安装或关节固定位置的参数。

表 19-5 关节后侧螺钉推荐拧紧参数及最小有效啮合长度

螺钉规格及头型	适用结构版本代号及安装位置	推荐拧紧扭矩	允许偏差	最小有效啮合长度
M2.5 内六角圆柱头	eRob110I_V6 外壳后侧	1.0 N • m	±0.2 N • m	4.0 mm
M3 内六角圆柱头	eRob70F_V3、eRob70F_V4、eRob70I_V4、eRob70I_V5、eRob70T_V4 模组后盖	1.2 N • m	±0.2 N • m	3.0 mm
M3 内六角圆柱头	eRob80F_V4、eRob80I_V5、eRob80I_V6、eRob80T_V5 模组后盖	1.2 N • m	±0.2 N • m	3.0 mm
M3 内六角圆柱头	eRob90I_V3、eRob90I_V6、eRob90T_V3 模组后盖	1.2 N • m	±0.2 N • m	3.0 mm
M3 内六角圆柱头	eRob110I_V4、eRob110I_V6、eRob110T_V4、eRob142I_V4、eRob142T_V4、eRob170I_V3 模组后盖	1.2 N • m	±0.2 N • m	3.0 mm
M3 内六角圆柱头	eRob70T_V4、eRob80T_V5、eRob90T_V3、eRob110T_V4、eRob142T_V4 外壳后侧	1.4 N • m	±0.2 N • m	5.0 mm
M4 内六角圆柱头	eRob142I_V4、eRob170I_V3 外壳后侧	4.5 N • m	±0.2 N • m	6.0 mm

注：图 6-18 所示线缆支架安装孔和图 6-21 所示接地安装孔属于表中“模组后盖”位置。表中“外壳后侧”为另一安装位置，应按对应型号和位置分别选取，不得混用。

本节连接应满足规定的螺钉强度等级、表面处理、清洁及干式装配条件。螺纹经修复、增加嵌件或结构改制后，本节参数不适用。同一结构版本和安装位置同时列出圆柱头与沉头时，应按对应 2D 安装图规定的孔型和螺钉头型选行，不得自行互换。

【警告】：不得通过提高拧紧扭矩补偿有效啮合长度不足或实现防松。如有防松需求，应采用对应型号 2D 安装图规定的措施；图纸未列明时，应向零差云控技术支持获取书面安装参数。若使用螺纹锁固剂，应重新确定适用拧紧参数。拧紧过程中如出现支承面尚未贴合而扭矩快速升高、扭矩突降、持续空转、金属屑、螺纹损伤或支承面变形，应立即停止装配，不得继续加力或重复使用已损伤的螺钉和螺纹孔。

19.5 常见的非正常安装

1、仅有平面安装，定位不足，如图 19-4。

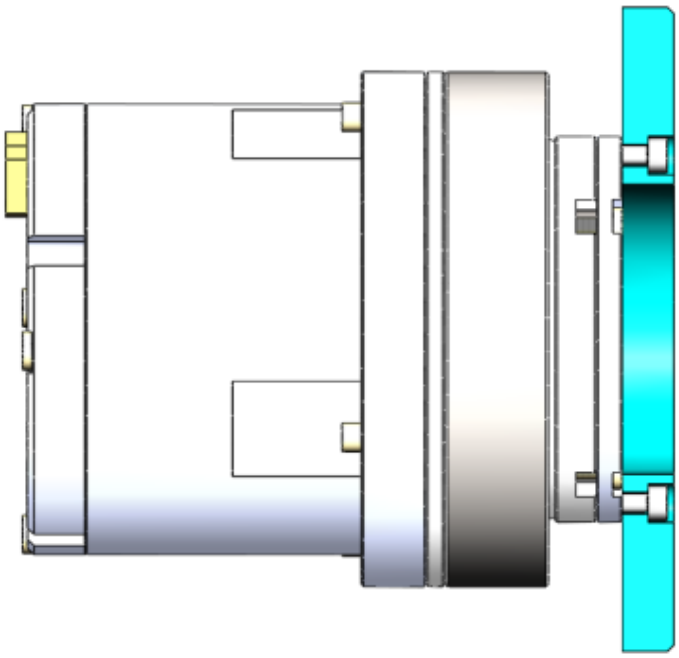


图 19-4 缺少定位止口

2、定位深度不够，达不到有效定位，如图 19-5。

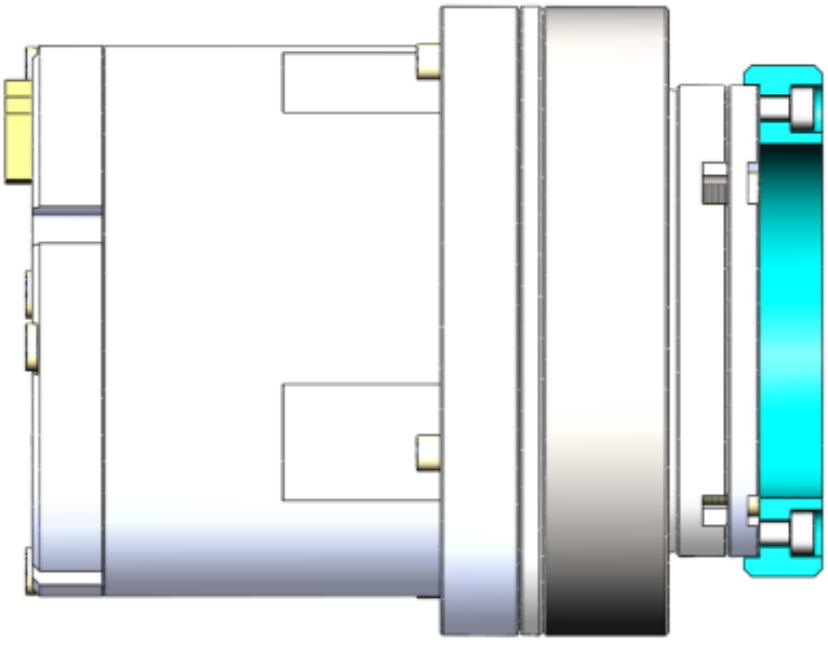


图 19-5 定位止口深度不足

• 3、由于钻孔引起翻边凸起，如图 19-6。

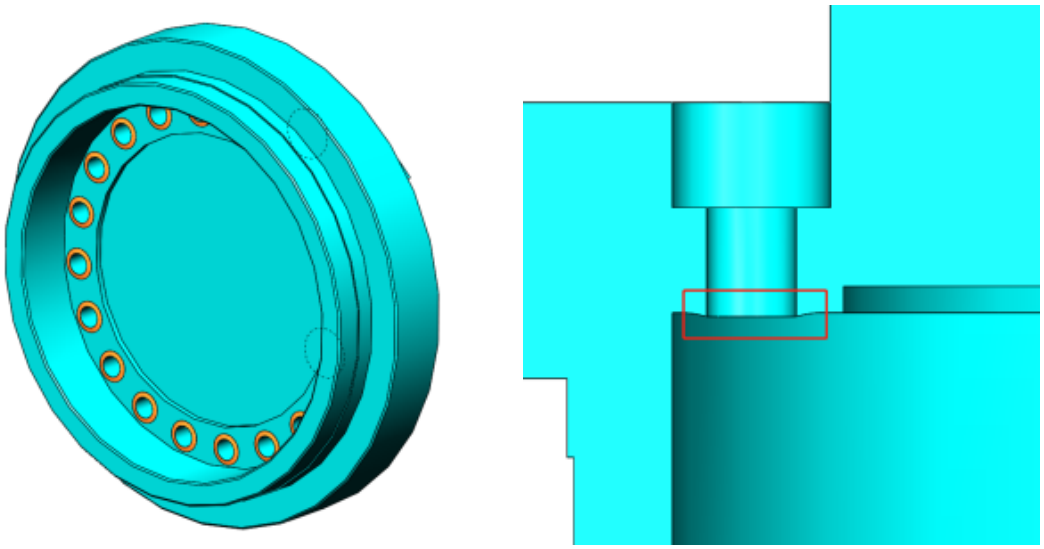


图 19-6 螺丝过孔翻边凸起

• 4、由于加工不良，平面度超差，如图 19-7。

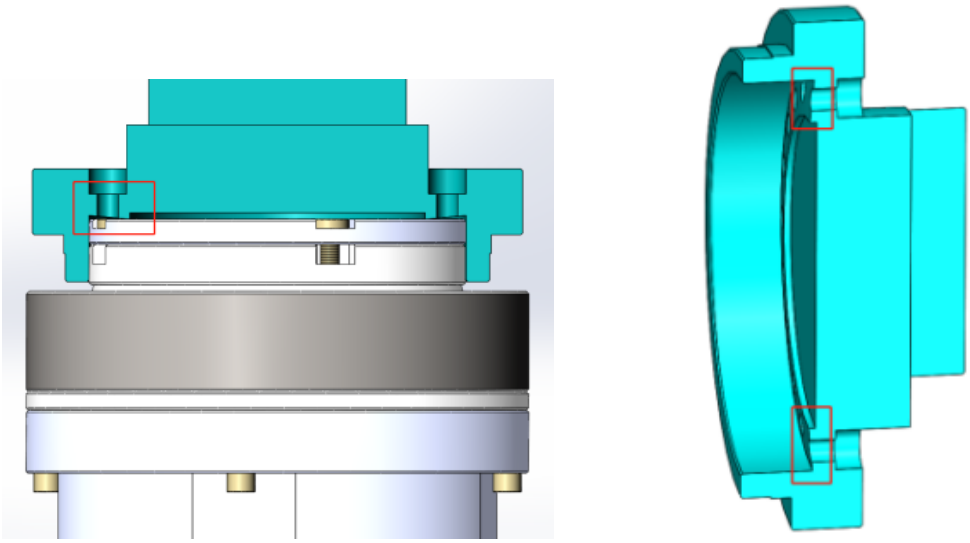


图 19-7 机加工平面度不足

5、由于安装方式不对，影响模组受力情况，如图 19-8：由于关节模组装有精密交叉滚子轴承用于直接支撑外部负载，如图错误安装方式没有将输出法兰受力传递到交叉滚子轴承上，而是传递到固定电机外壳的螺栓上。

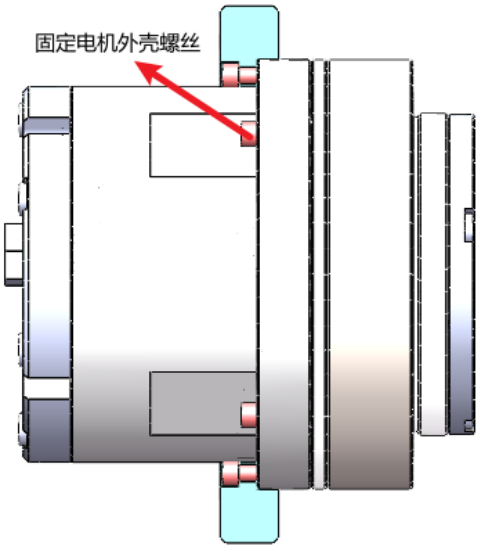


图 19-8 未将输出法兰受力传递到交叉滚子轴承上错误安装方式

如需从电机外壳固定端采用螺栓—螺母通孔连接方式固定模组，表 19-3、表 19-4 和表 19-5 不适用于该类连接；应向零差云控技术支持获取螺栓规格、强度等级、拧紧扭矩及防松方式等书面安装参数。装配时应固定一端，仅对另一端施加规定拧紧扭矩，不得对两端同时施加方向相反的拧紧扭矩。

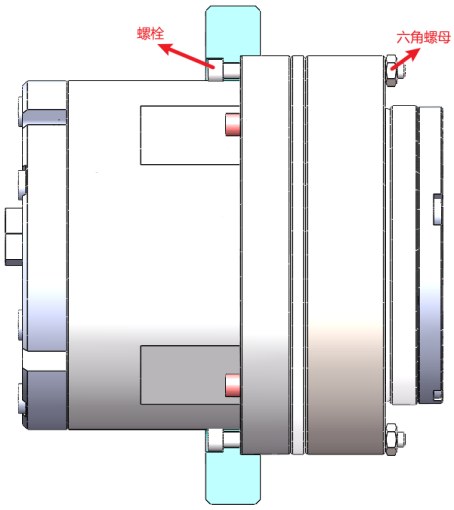


图 19-9 电机外壳固定端锁付模组正确方式

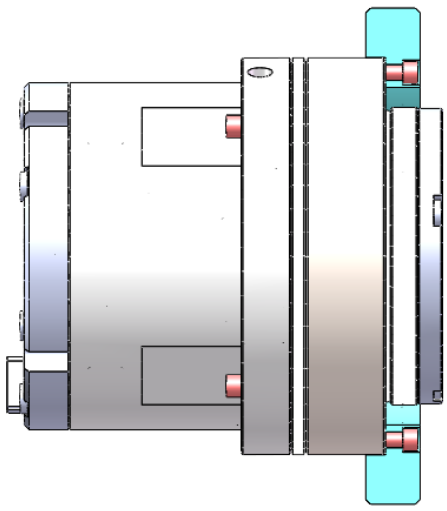


图 19-10 交叉滚子轴承端锁付模组正确方式

6、关节模组安装无需添加外置轴承，如图 19-11：由于模组上集成了可受径向和轴向负载的交叉滚子轴承，关节模组安装无需添加外置轴承支撑，关节模组的承载能力校核参照本手册第十八章《各方向受力允许值》。添加外置轴承支撑会造成安装尺寸过定义的情况，引起关节模组异响、抖动、棘爪、屈曲等异常。

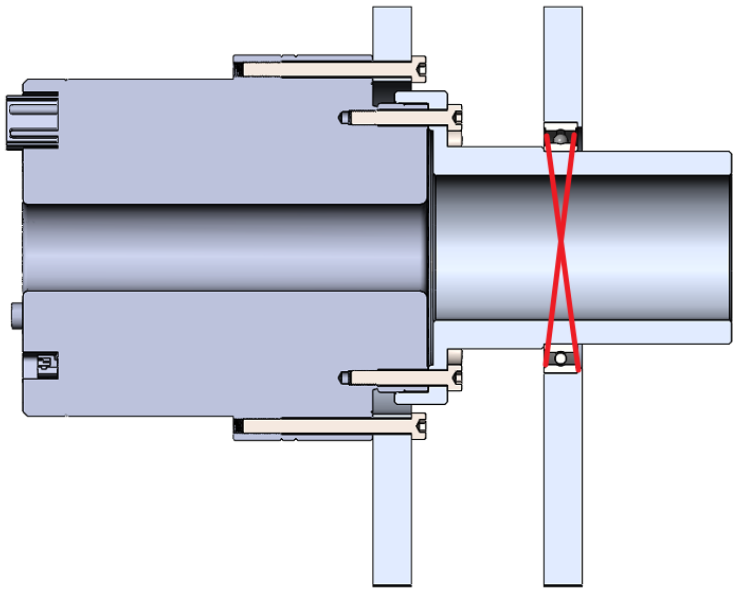


图 19-11 关节模组安装无需添加外置轴承

【注意】：出现异常抖动或噪声时，请按本章检查安装面清洁度、平面度、支撑刚度及螺钉紧固情况。安装确认无误后仍有异常，请按第 27 章排查或联系技术支持。

19.6 严格清洁安装表面

安装表面可能粘有金属屑、各类螺纹胶、密封胶、颗粒粉尘等，导致安装面未实现可靠的配合，进而引起抖动和噪声，安装前请严格清洁安装表面。表 19-4 和表 19-5 所列螺纹连接的内、外螺纹、支承面清洁、风干及干式装配要求同时见第 19.4 节。

二十、 固件版本升级

模组固件版本定义规则如下图 20-1 所示。

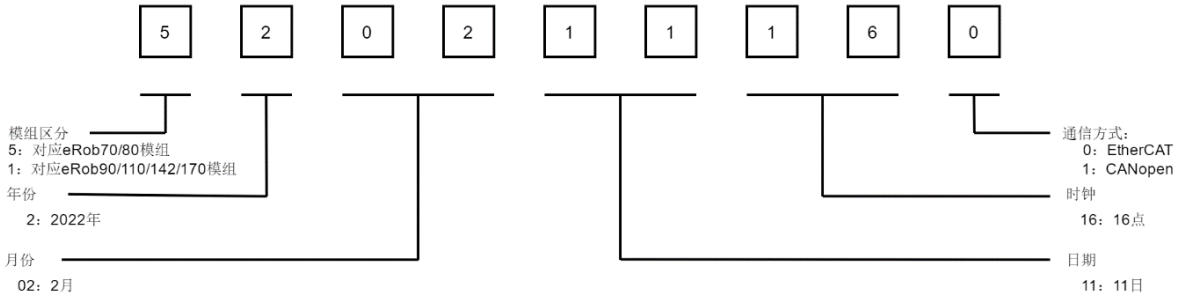


图 20-1 模组固件版本定义规则

关于 eRob 关节模组的固件更新日志和固件升级软件下载请访问我司官网“固件升级”网页。

二十一、 恢复出厂参数功能

软件适用：以下“参数存储”步骤和提示图适用于 eTuner；eTunerII 恢复出厂参数及参数文件操作见附录 4（A4.12）。本章出货时间、固件版本及使用条件继续适用。

如图 21-1 所示，恢复出厂参数操作步骤如下：

• 1、连接 eTuner 安装调试软件，点击“参数存储”按钮，弹出“参数上传和下载”对话框；

• 2、点击“恢复出厂参数”按钮，等待进度条显示完成，弹出图 21-1 提示框，点击“确定”。

• 3、断电重启，再次连接 eTuner 安装调试软件，确认参数已恢复，并点击“保存”按钮，将恢复的参数进行保存。

注意事项：

（1）只有当保存参数过程中因意外断电，造成部分参数丢失或全部丢失时才可使用此功能恢复出厂参数。

（2）应用此功能时，请确认该模组的固件版本是最新发布的正式版本（固件版本号为 X2040816X 及之后的固件版本，且是在 2022 年 4 月 8 日之后出货的模组）。在此之前出货的模组都不支持该功能。

（3）在出现“注意事项（1）”的情况时，如果不满足“注意事项（2）”所述条件，请及时联系我司技术支持工程师确认。



图 21-1 恢复出厂参数操作

二十二、 安全转矩关断 (STO) 功能使用说明

软件适用：本章介绍 eTuner 的 I/O 设置步骤、枚举显示和截图；eTunerII 的 STO 配置见附录 4（A4.8）。接线及产品安全使用要求共用，选择项应按所用软件核对。

安全转矩关断 (STO) 功能用于紧急停止情况和防止意外启动，当 STO 信号触发时可以立即关闭电机的电源同时制动器闭合，但驱动器的电源不需要中断。

注：1、STO 接线图参考本手册第 6.5 节“I/O 信号端子接线图”中的图 6-14“安全转矩关断 (STO) 端子连接图”。关节模组支持两路 STO（STOA 和 STOB），当只配置一路 STO 时，只连接 STOA 接口即可。

22.1 STO 功能配置

如图 22-1，安装有 eTuner 安装调试软件的电脑，通过 eRob 调试器连接关节模组的 CAN 通信接口，12P I/O 配线端子与 I/O 信号接口相连，然后给关节模组提供正确电源。



图 22-1 接线示意图

22.1.1 一路 STO 功能配置

如图 22-2，连接 eTuner 安装调试软件，进入控制模式界面，控制源选择“0-不使用”。然后进入 I/O 设置界面进行 STO 功能配置（注意查看状态监控界面显示为未使能状态时才能对此功能进行修改设定）。

将 DIn01 功能设置为“STOA”，STO 配置设置为“2-一路 STO”，依次点击应用和保存，等待约 3S 后提示保存成功即完成一路 STO 功能配置。



图 22-2 一路 STO 功能配置步骤

22.1.2 两路 STO 功能配置

如图 22-3，连接 eTuner 安装调试软件，进入控制模式界面，控制源选择“0-不使用”。然后进入 I/O 设置界面进行 STO 功能配置（注意查看状态监控界面显示为未使能状态时才能对此功能进行修改设定）。

将 DIn01 功能设置为“STOA”，DIn02 功能设置为“STOB”，STO 配置设置为“3-两路 STO”，依次点击应用和保存，等待约 3S 后提示保存成功即完成两路 STO 功能配置。



图 22-3 两路 STO 功能配置步骤

二十三、 扭矩传感器

1、理想情况下的谐波减速机的传动方程：

$$\theta_{\text{out}} = \frac{\theta_{\text{in}}}{N}$$

其中，θ_{out} 为柔轮输出端角度值，θ_{in} 为波发生器输入端角度值，N 为减速机齿轮比。

2、谐波减速机的实际传动方程：

$$\theta_{\text{out}} + E_{\text{out}} = \frac{\theta_{\text{in}}}{N} + E_{\text{in}}$$

其中，E_{in} 表示输入端传动误差，E_{out} 表示由刚轮弹性变形引起的误差；E_{out} 数值十分微小，可忽略不计。

$$E_{\text{in}} = E_{\text{fs}} + E_{\text{wg}} + E_{\text{gap}} + E_{\text{mfg}}$$

其中，E_{fs} 为柔轮弹性变形误差，E_{wg} 为波发生器变形误差，E_{gap} 为输入侧齿隙误差，E_{mfg} 为制造误差。与前三项相比，E_{mfg} 十分微小，可忽略不计。

定义变量 $\Delta\theta$（令 $\Delta\theta = E_{\text{in}}$，用对象字典 0x2241 表示）来表示谐波减速机总的扭转角。

$$\Delta\theta = (\theta_{\text{out}} \times N) - \theta_{\text{in}}$$

其中，θ_{in} 通过电机端编码器测量，分辨率为 17 位；θ_{out} 通过负载端编码器测量，分辨率为 19 位；$\Delta\theta$ 的分辨率为 17 位。

两个编码器的采样周期都是 50 μs，$\Delta\theta$（0x2241）和计算扭矩值（0x3B69）均在编码器采样后立刻计算。因此，$\Delta\theta$ 和计算扭矩值的带宽主要取决于 EtherCAT 和 CANopen 对 0x2241 和 0x3B69 的通信周期。

表 23-1 双编码器差值（$\Delta\theta$）

索引	0x2241	对象	变量	名称	双编码器差值（$\Delta\theta$）
子索引	PDO 映射	读写操作	数据格式	单位	描述
0x00	TxPDO	只读	INT32	分辨率	映射到电机侧两个编码器的差值，分辨率 17 位。以 eRob80H100 为例，静止时 $\Delta\theta$ 双编码器差值与负载端扭矩关系曲线如图 23-1 所示。

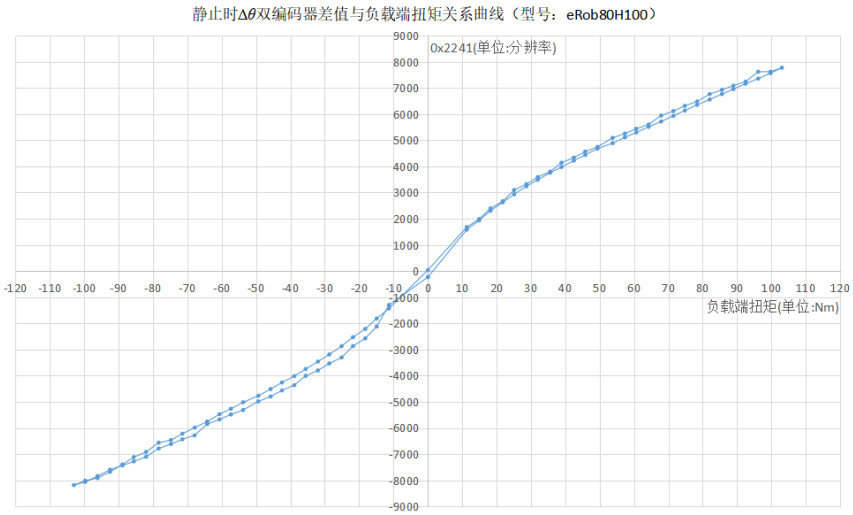


图 23-1 静止时 Δθ 双编码器差值与负载端扭矩关系曲线

表 23-2 静止时 Δθ 双编码器差值与负载端扭矩关系测试数据表

负载端扭矩 (Nm)	Δθ 双编码器差值（平均值 Avg）	负载端扭矩 (Nm)	Δθ 双编码器差值（平均值 Avg）
0.000	-230	0.000	37
11.327	1583	-11.327	-1433
14.903	1935	-14.903	-1815
18.218	2305	-18.218	-2211
21.794	2629	-21.794	-2530
25.109	2935	-25.109	-2871
28.685	3240	-28.685	-3188
32.000	3490	-32.000	-3462
35.576	3756	-35.576	-3746
38.891	3977	-38.891	-4018
42.467	4220	-42.467	-4262
45.782	4439	-45.782	-4512
49.358	4680	-49.358	-4770
53.756	4888	-53.756	-5018
57.331	5109	-57.331	-5265
60.647	5299	-60.647	-5472
64.222	5512	-64.222	-5756
67.884	5716	-67.884	-5988

表 23-2 静止时 Δθ 双编码器差值与负载端扭矩关系测试数据表（续）

负载端扭矩 (Nm）	Δθ 双编码器差值（平均值 Avg)	负载端扭矩 (Nm）	Δθ 双编码器差值（平均值 Avg)
71.459	5931	-71.459	-6219
74.775	6137	-74.775	-6463
78.350	6353	-78.350	-6563
82.011	6556	-82.011	-6917
85.587	6766	-85.587	-7115
88.902	6955	-88.902	-7396
92.478	7165	-92.478	-7677
96.139	7357	-96.139	-7914
99.715	7565	-99.715	-8017
103.030	7773	-103.030	-8185
99.715	7620	-99.715	-8062
96.139	7620	-96.139	-7839
92.478	7244	-92.478	-7596
88.902	7086	-88.902	-7432
85.587	6926	-85.587	-7279
82.011	6766	-82.011	-7100
78.350	6481	-78.350	-6784
74.775	6314	-74.775	-6616
71.459	6115	-71.459	-6434
67.884	5945	-67.884	-6281
64.222	5602	-64.222	-5850
60.647	5439	-60.647	-5674
57.331	5254	-57.331	-5483
53.756	5092	-53.756	-5314
49.358	4747	-49.358	-4986
45.782	4566	-45.782	-4797
42.467	4337	-42.467	-4564
38.891	4141	-38.891	-4363
35.576	3801	-35.576	-4007
32.000	3595	-32.000	-3802

表 23-2 静止时 Δθ 双编码器差值与负载端扭矩关系测试数据表（续）

负载端扭矩 (Nm）	Δθ 双编码器差值（平均值 Avg)	负载端扭矩 (Nm）	Δθ 双编码器差值（平均值 Avg)
28.685	3324	-28.685	-3534
25.109	3097	-25.109	-3304
21.794	2671	-21.794	-2869
18.218	2392	-18.218	-2575
14.903	1985	-14.903	-2122
11.327	1678	-11.327	-1299

表 23-3 计算扭矩值

索引	0x3B69	对象	变量	名称	计算扭矩值
子索引	PDO 映射	读写操作	数据格式	单位	描述
0x00	TxPDO	只读	INT32	mNm	基于双编码器方案计算的扭矩值。此对象仅扭矩传感器位为 T 的配置支持。

注意：未按照关节输出端连接法兰的安装要求（详见本手册第十九章），可能会导致输出轴发生变形，进而导致扭矩传感器无法正常工作，甚至发生不可逆的破坏。

双编码器差值 0x2241 与扭矩值 0x3B69 之间的关系可结合如下图 23-2 的谐波减速机的刚度与滞后曲线的特性而获得。

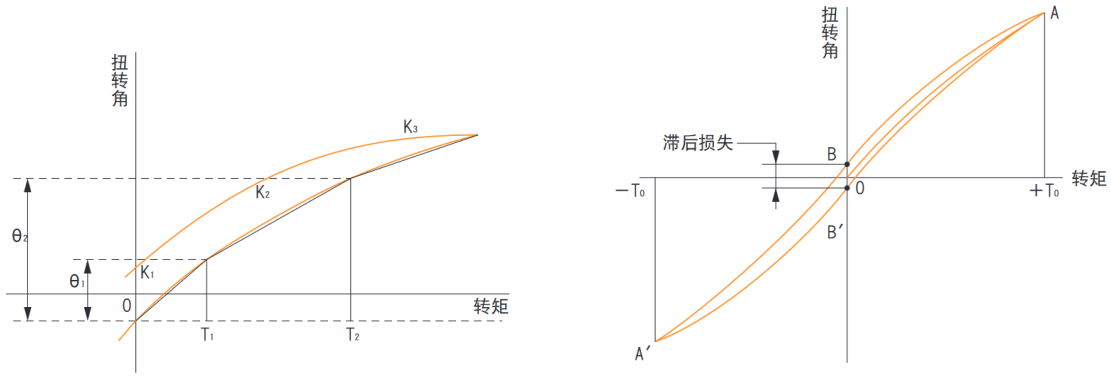


图 23-2 谐波减速机的滞后与刚度曲线

参考文献：《HarmonicDrive 组合型产品目录.pdf》

二十四、 关于使用寿命

关节模组的使用寿命取决于减速机的使用寿命，而减速机的使用寿命又取决于波发生器轴承的使用寿命。与普通滚珠轴承相同，可通过转速和负载转矩计算出来。

表 24-1 关节模组使用寿命时间

	使用寿命时间	
减速机类型	F 型	H 型
L10（10% 破损率）	7,000 小时	10,000 小时
L50（平均使用寿命）	35,000 小时	50,000 小时

注：表 24-1 中的使用寿命对应额定转速和额定转矩。

实际运转条件下使用寿命（L_h）的计算公式：

$$L_h = L_n \times \left(\frac{T_r}{T_{avg}}\right)^3 \times \left(\frac{N_r}{N_{avg}}\right)$$

符号	定义	单位
L_h	使用寿命	hr
L_n	L10 或 L50 时的使用寿命时间	hr
T_r	减速机额定转矩	Nm
N_r	用于减速机额定扭矩测试的电机端额定转速（2000RPM）	RPM
T_{avg}	减速机输出端的平均负载转矩	Nm
N_{avg}	减速机输入（或电机输出）平均转速	RPM

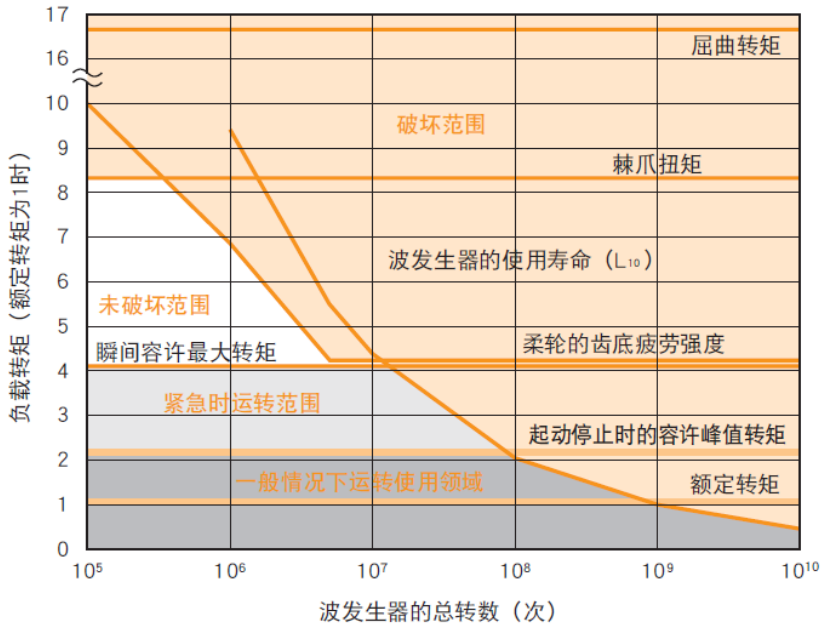


图 24-1 关节模组的强度与使用寿命的关系图

参考文献：《HarmonicDrive 组合型产品目录.pdf》

注：请在“一般情况下运转使用领域”内使用关节模组。超过“一般情况下运转使用领域”使用会造成关节模组发生早期破损。图 24-1 中的数值请作为参考值使用，且未考虑齿面磨耗等润滑寿命。

eRob110H HD[V6] 搭载哈默纳科减速机，耐久验证数据见表 24-2。

表 24-2 eRob110H HD[V6] 耐久验证数据

验证项目	验证结果
加严负载	154.4 N • m
累计运行时间	约 2,500 h
额定工况等效运行时间（折算）	约 14,000 h
测试状态	尚未达到寿命失效条件

二十五、 脉冲 + 方向控制使用说明

软件适用：以下 PD 开关、I/O 步骤及软件截图适用于 eTuner；eTunerII 的对应设置与模式启用差异见附录 4（A4.9）。脉冲接线、齿轮比原理和协议说明继续按本章执行。

eRob 关节支持脉冲 + 方向指令控制，通过外部输入脉冲与方向信号对关节进行运动控制。

注：1、脉冲 + 方向控制接口仅通信类型位为 E 的 EtherCAT 配置支持。

2、脉冲 + 方向控制接线图请参考本手册第 6.5 节“I/O 信号端子接线图”中的图 6-15“5V 差分脉冲指令输入端子连接图”和图 6-16“集电极开路脉冲指令输入端子连接图”。

3、eRob 关节外壳必须接地 (PE)，否则信号会不稳定，可能导致误动作。接地方式请参考《eRob 机器人关节模组用户手册》第 6.6.3 节“关节外壳接地”。

25.1 脉冲 + 方向控制参数配置

脉冲 + 方向控制参数配置步骤如图 25-1 所示。

连接 eTuner 安装调试软件，进入“PD 设置”界面，用户可在该界面监控关节收到的脉冲个数。

勾选脉冲方向控制模式，启用脉冲方向控制。

配置脉冲方向：

0：脉冲 + 方向正逻辑：eRob 关节运动方向与外部输入脉冲方向相同。

1：脉冲 + 方向负逻辑：eRob 关节运动方向与外部输入脉冲方向相反。

配置齿轮比：

eRob 关节运动圈数 = 外部输入脉冲个数 × 齿轮比/524288。齿轮比分子分母默认配置为 1，即外部输入 1 个脉冲，eRob 关节运动 1 个编码器位置（count）。如用户欲配置外部输入 1000 个脉冲使 eRob 关节运动一圈，则齿轮比配置为 524288/1000。

点击“应用”按钮。

点击“保存”按钮。

等待 3s 提示保存成功后断电重启，断电重启后配置参数生效。



图 25-1 脉冲 + 方向控制参数配置

用户可在 eTuner 安装调试软件 I/O 设置中配置 I/O 端口发送使能命令，设置步骤如图 25-2 所示。

连接 eTuner 安装调试软件，进入“I/O 设置”界面。

DIn03 功能配置为使能。（相同功能仅可配置一个 I/O，即 DIn03、DIn04、DIn05、DIn06 只能配置其中一个 I/O 功能为使能）

勾选 DIn03 指令取反。

点击“应用”按钮。

点击“保存”按钮。

等待 3s 提示保存成功后断电重启，断电重启后配置参数生效。

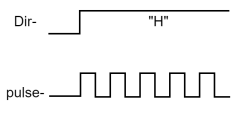
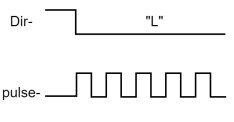
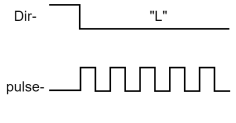
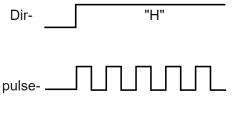


图 25-2 eTuner 安装调试软件 I/O 设置

25.2 脉冲 + 方向运动控制

脉冲 + 方向控制参数配置完成后，eRob 关节上电自动使能，此时向 eRob 关节发送脉冲与方向信号，eRob 关节在接收到外部脉冲和方向信号时开始运动。脉冲 + 方向控制指令如表 25-1 所示：

表 25-1 脉冲 + 方向指令

指令	脉冲 + 方向指令逻辑	电机正转	电机反转
脉冲 + 方向指令	正逻辑		
脉冲 + 方向指令	负逻辑		

用户通过调整外部脉冲的发送个数和发送频率来控制 eRob 关节运动的位置和速度。关节目标位置由接收的脉冲个数与所配置的齿轮比共同确定，计算关系见第 25.1 节；关节运动速度受到运动参数限制，如图 25-3 所示。

eRob 关节运动的目标速度大于轮廓速度时，eRob 关节以轮廓速度运行。

eRob 关节运动的目标速度小于轮廓速度时，eRob 关节以目标速度运行。

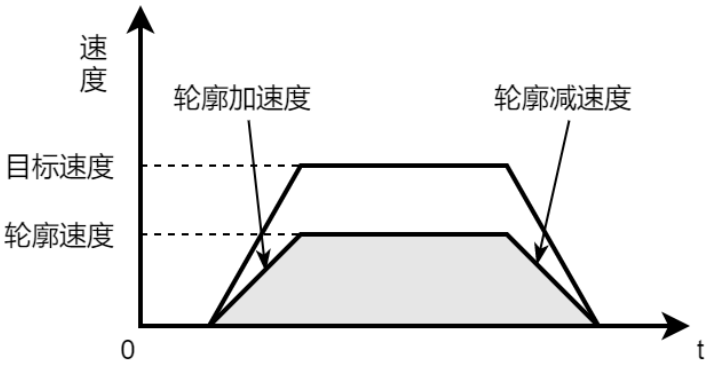


图 25-3 运动参数限制 eRob 关节运动

用户可通过降低外部脉冲发送频率或配置更大的轮廓速度，使 eRob 关节运动的目标速度小于轮廓速度，从而使得 eRob 关节以目标速度运行，运动参数配置如图 25-4 所示。



图 25-4 运动参数配置

用户使用脉冲 + 方向控制时可通过 CAN 或 RS485 通信接口读取关节位置反馈：

（1）通过 CAN 通信接口发送 CAN 报文指令的方式来读取关节位置反馈，报文协议详见《eRunner 用户手册》第 7 章 CAN 自定义协议说明。

以伺服 CAN ID=1 为例，发送报文如表 25-2 所示。

表 25-2 读取关节位置反馈 CAN 报文

COB-ID	Message	Comment
641	00 02	读取关节位置反馈
5C1	00 15 8A 06 3E	返回关节位置

（2）通过 RS485 通信接口发送 Modbus 报文指令的方式来读取关节位置反馈，报文协议详见《eRob 机器人关节 Modbus-RTU 通信应用手册》。

以伺服串口 ID=1 为例，发送报文如表 25-3 所示。

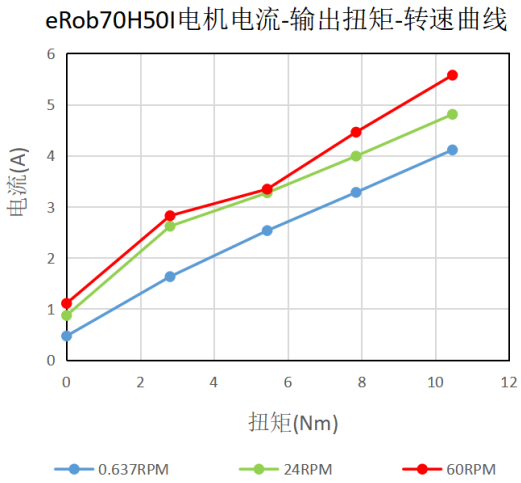
表 25-3 读取关节位置反馈 Modbus 报文

Direction	Message	Comment
Send→	01 03 00 66 00 02 24 14	读取关节位置反馈
Receive←	01 03 04 00 15 8A 06 0C 95	返回关节位置

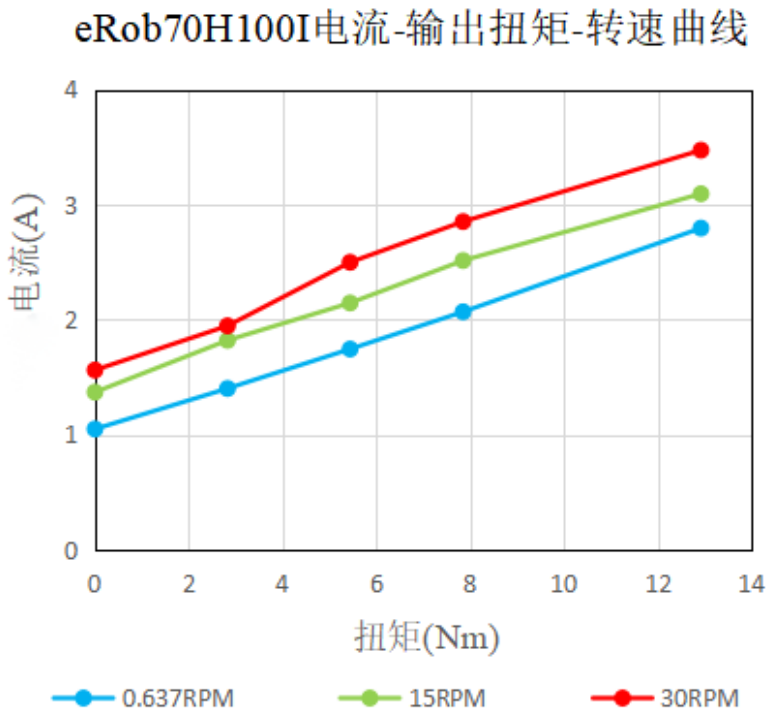
二十六、 输出特性曲线

26.1 关节模组电机电流-输出扭矩-转速曲线

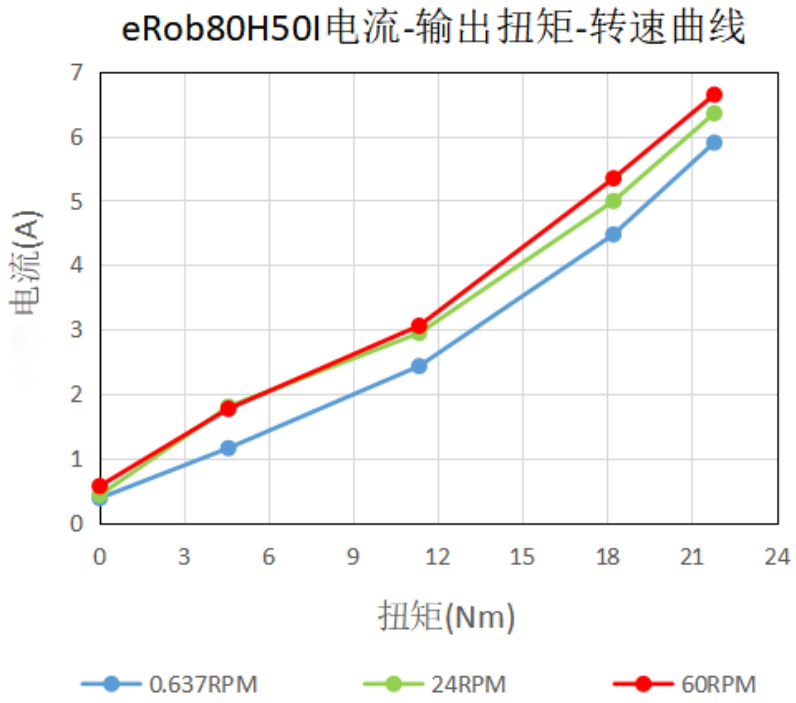
以下是部分型号的电机电流-输出扭矩-转速曲线和测试数据，电机电流即电机实际电流，详细说明请参考表 26-3 电机实际电流（0x6078）。



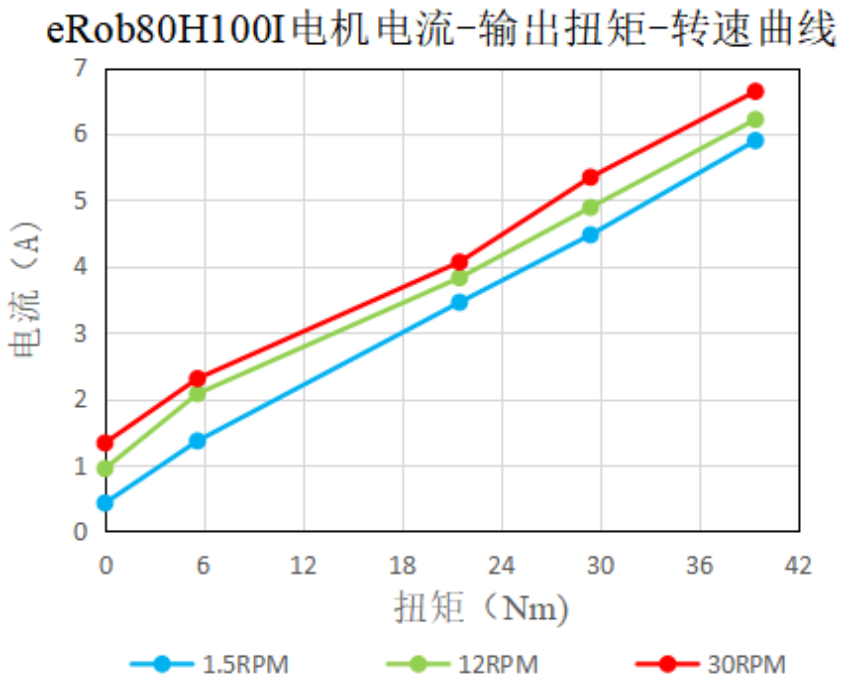
eRob70H50I 电机电流-输出扭矩-转速曲线数据					
电流 输出扭矩 / 转速	0 Nm	2.806 Nm	5.440 Nm	7.849 Nm	10.463 Nm
0.637 RPM	0.469 A (39℃)	1.631 A (41℃)	2.532 A (39℃)	3.280 A (36℃)	4.111 A (40℃)
24 RPM	0.872 A (40℃)	2.618 A (42℃)	3.272 A (38℃)	3.989 A (37℃)	4.808 A (41℃)
60 RPM	1.108A (40℃)	2.823 A (37℃)	3.343 A (41℃)	4.458 A (39℃)	5.574 A (43℃)



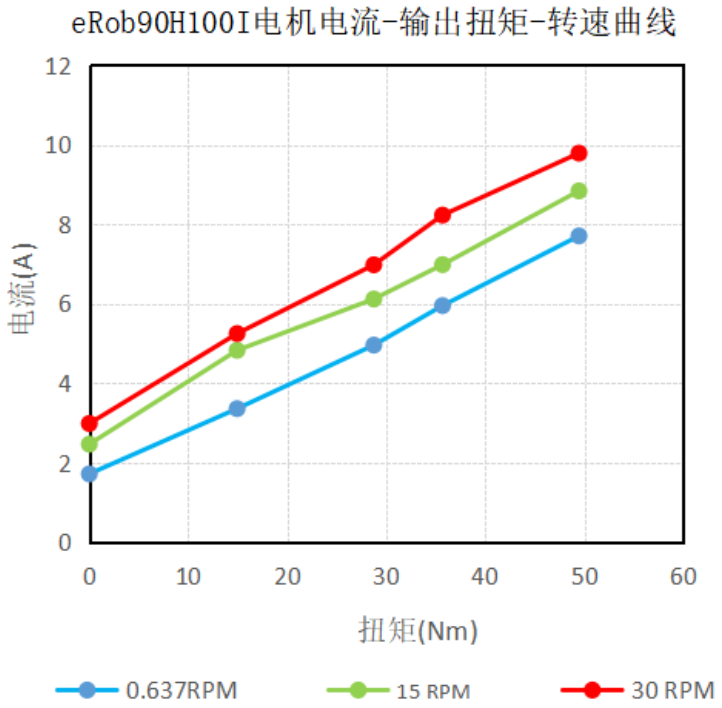
eRob70H100I 电机电流-输出扭矩-转速曲线数据					
电流 输出扭矩 / 转速	0 Nm	2.826 Nm	5.440 Nm	7.849 Nm	12.922 Nm
0.637 RPM	1.049 A (37℃)	1.402 A (36℃)	1.745 A (36℃)	2.069 A (36℃)	2.797 A (36℃)
15RPM	1.370 A (40℃)	1.821 A (39℃)	2.146 A (38℃)	2.515 A (39℃)	3.096 A (41℃)
30RPM	1.562 A (39℃)	1.947 A (36℃)	2.500 A (35℃)	2.854 A (35℃)	3.475A (38℃)



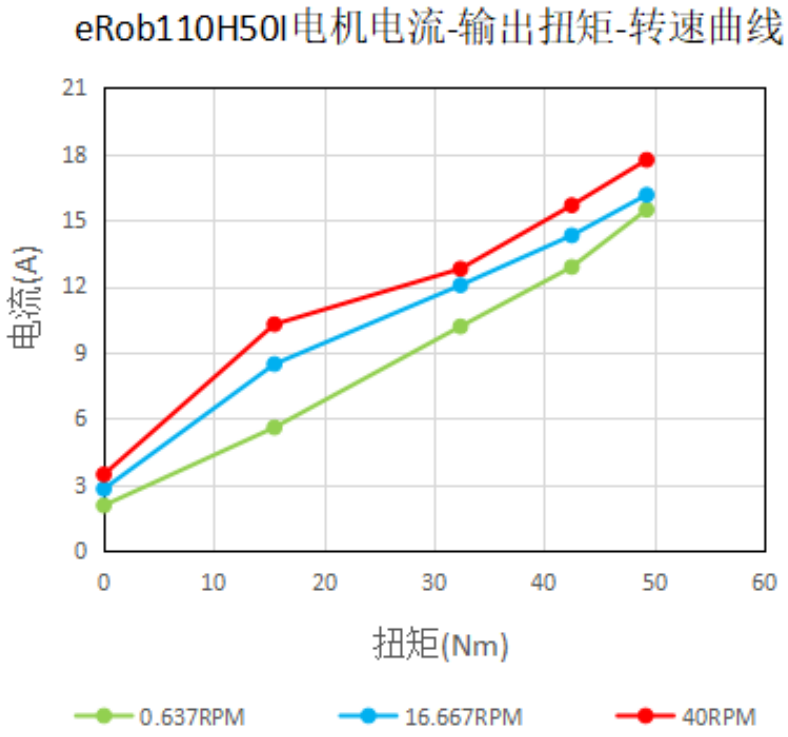
eRob80H50I 电机电流-输出扭矩-转速曲线数据					
电流 输出扭矩 / 转速	0 Nm	6.465 Nm	11.327 Nm	18.218 Nm	21.794 Nm
0.637 RPM	0.386 A (40℃)	1.362 A (37℃)	2.432 A (42℃)	4.473 A (40℃)	5.896 A (38℃)
24 RPM	0.435 A (39℃)	1.963 A (38℃)	2.943 A (36℃)	4.990 A (40℃)	6.350 A (38℃)
60 RPM	0.574 A (40℃)	1.861 A (40℃)	3.508 A (38℃)	5.343 A (41℃)	6.639 A (40℃)



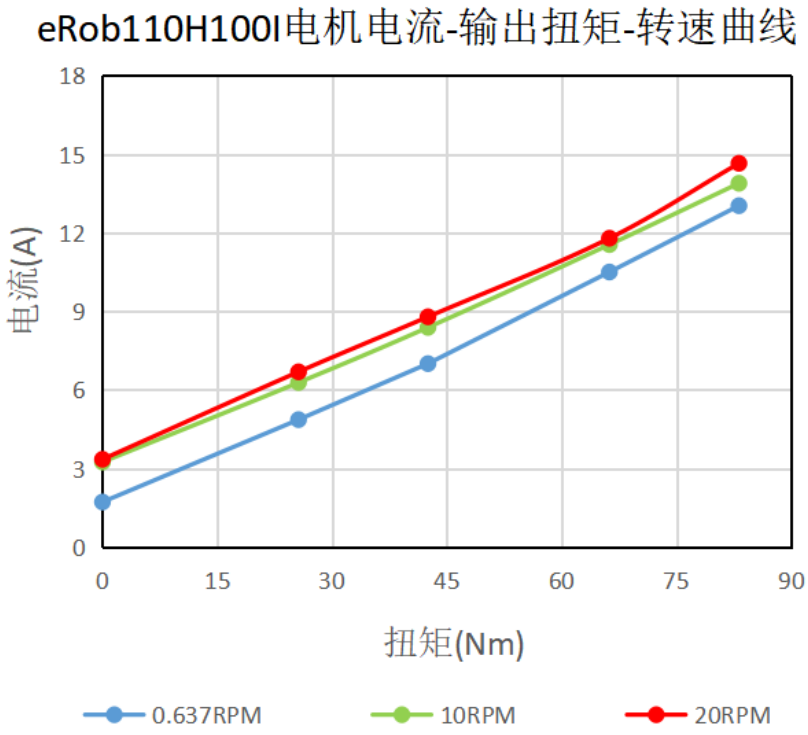
eRob80H100I 电机电流-输出扭矩-转速曲线数据					
电流 输出扭矩 / 转速	0 Nm	5.604 Nm	21.475 Nm	29.409 Nm	39.398 Nm
1. 5RPM	0.424 A（38℃）	1.362A（41℃）	3.454 A（38℃）	4.473 A（40℃）	5.896 A（41℃）
12RPM	0.944 A（40℃）	2.075 A（38℃）	3.824 A（42℃）	4.887 A（42℃）	6.215 A（40℃）
30RPM	1.331 A（41℃）	2.303A（39℃）	3.824 A（44℃）	4.887 A（42℃）	6.639 A（40℃）



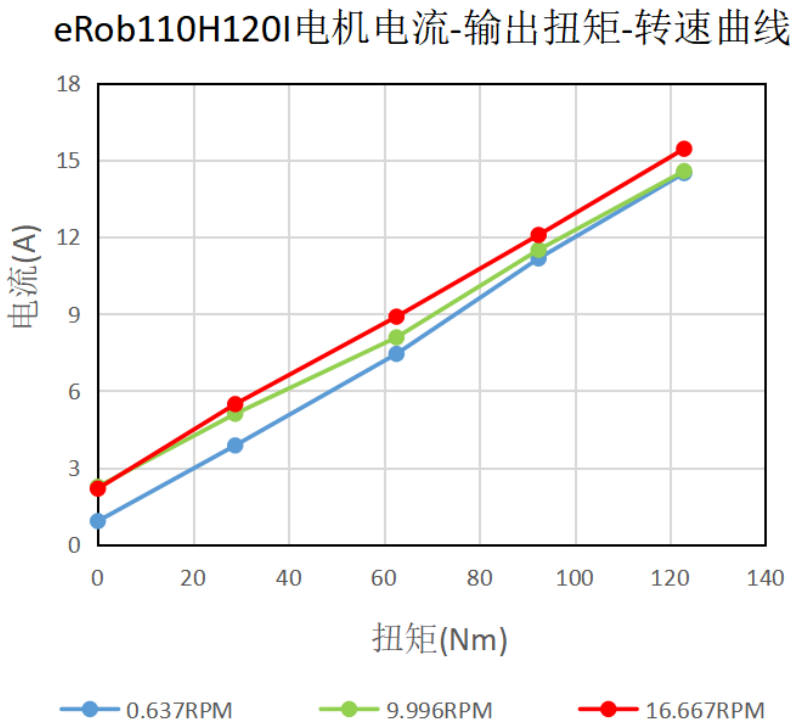
eRob90H100I 电机电流-输出扭矩-转速曲线数据					
电流 输出扭矩 / 转速	0 Nm	14.923 Nm	28.726 Nm	35.664 Nm	49.437 Nm
0.637 RPM	1.716 A (44℃)	3.358 A (42℃)	4.957 A (44℃)	5.951 A (39℃)	7.705 A (43℃)
15 RPM	2.464 A (45℃)	4.826 A (42℃)	6.117 A (44℃)	6.982 A (40℃)	8.838A (40℃)
30 RPM	2.984 A (44℃)	5.247 A (42℃)	6.978 A (44℃)	8.228 A (39℃)	9.787 A (38℃)



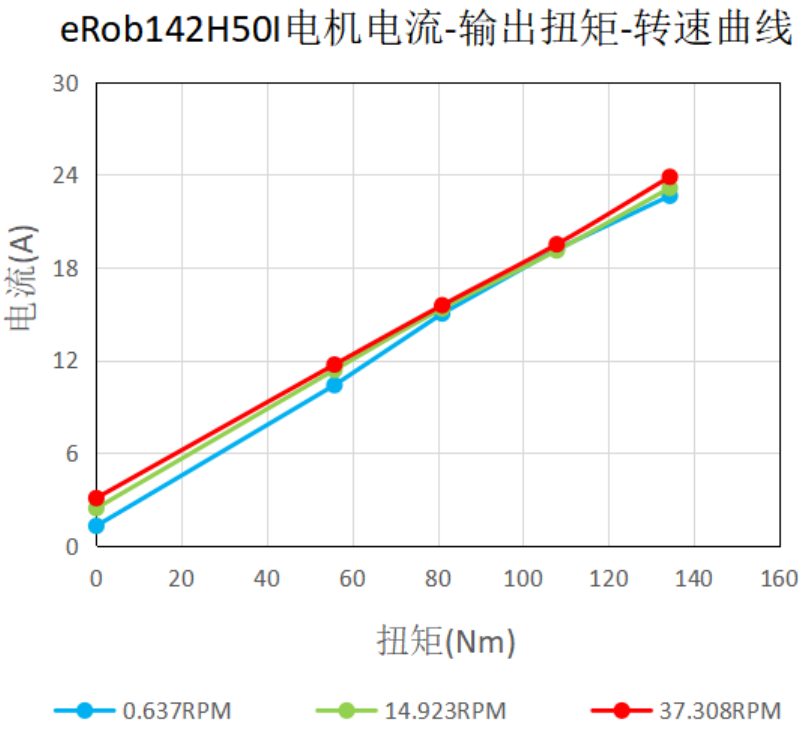
eRob110H50I 电机电流-输出扭矩-转速曲线数据					
电流 输出扭矩 / 转速	0 Nm	15.498 Nm	32.404 Nm	42.519 Nm	49.320Nm
0.637RPM	2.059 A (39℃)	5.596 A (39℃)	10.173 A (40℃)	12.871 A (41℃)	15.466A (41℃)
16.667RPM	2.808 A (39℃)	8.468 A (39℃)	12.044A (41℃)	14.301A (42℃)	16.140A (43℃)
40RPM	3.465 A (40℃)	10.272A (38℃)	12.789A (39℃)	15.667A (40℃)	17.725A (42℃)



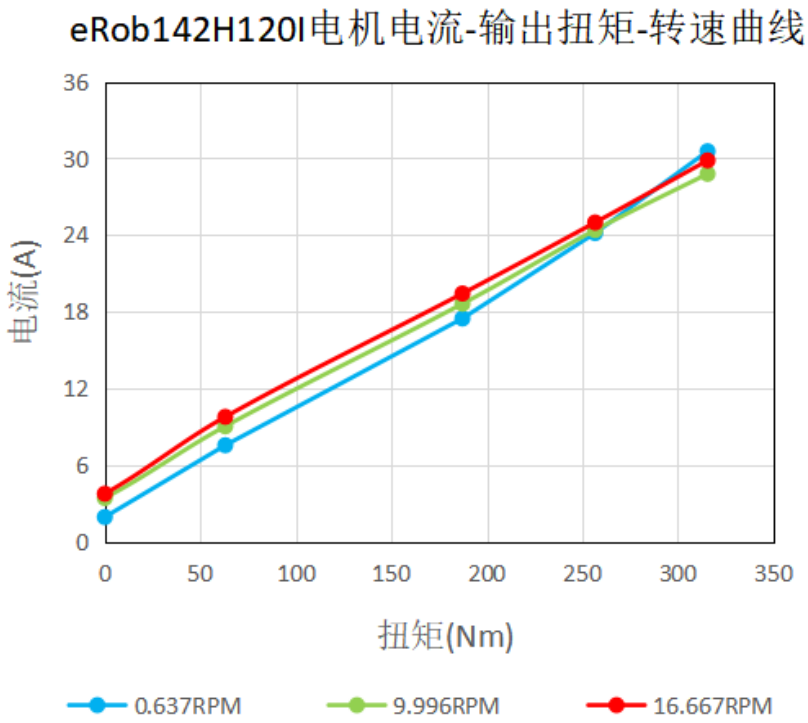
eRob110H100I 电机电流-输出扭矩-转速曲线数据					
电流 输出扭矩 转速	0 Nm	25.609 Nm	42.519 Nm	66.222 Nm	83.142 Nm
0.637RPM	1.716A (35℃)	4.862A (35℃)	7.001A (37℃)	10.501A (40℃)	13.033A (39℃)
10RPM	3.243A (38℃)	6.279A (36℃)	8.385A (38℃)	11.548A (39℃)	13.890A (41℃)
20RPM	3.347A (41℃)	6.688A (36℃)	8.790A (38℃)	11.791A (40℃)	14.653A (41℃)



eRob110H120I 电机电流-输出扭矩-转速曲线数据					
电流 输出扭矩 / 转速	0 Nm	28.803 Nm	62.621 Nm	92.407 Nm	122.929Nm
0.637RPM	0.920 A (38℃)	3.870 A (40℃)	7.440 A (38℃)	11.161 A (40℃)	14.488A (40℃)
9.996RPM	2.260 A (41℃)	5.103 A (39℃)	8.083 A (40℃)	11.497 A (42℃)	14.688 A (39℃)
16.667RPM	2.185 A (41℃)	5.482 A (39℃)	8.891 A (41℃)	12.076 A (42℃)	15.436 A (38℃)



eRob142H50I 电机电流-输出扭矩-转速曲线数据					
电流 输出扭矩 / 转速	0 Nm	55.804 Nm	81.043Nm	107.886 Nm	134.383 Nm
0.637 RPM	1.269 A（41℃）	10.377 A（37℃）	15.012 A（41℃）	19.168 A（42℃）	22.632 A（39℃）
14.923RPM	2.412 A（40℃）	11.359 A（38℃）	15.337 A（43℃）	19.094 A（42℃）	23.137 A（38℃）
37.708 RPM	3.068 A（40℃）	11.708 A（40℃）	15.550 A（43℃）	19.494 A（41℃）	23.858 A（39℃）



eRob142H120I 电机电流-输出扭矩-转速曲线数据					
电流 输出扭矩 / 转速	0 Nm	63.059 Nm	187.186 Nm	256.616 Nm	315.476 Nm
0.637 RPM	1.908 A (36℃)	7.531 A (41℃)	17.455 A (42℃)	24.139 A (40℃)	30.545 A (42℃)
9.996RPM	3.399 A (38℃)	9.018 A (40℃)	18.606 A (40℃)	24.374 A (43℃)	28.779 A (40℃)
16.667 RPM	3.734 A (38℃)	9.755 A (40℃)	19.410 A (39℃)	24.971 A (41℃)	29.825 A (40℃)

电机电流到输出端扭矩的传递函数框图如图 26-1 所示：

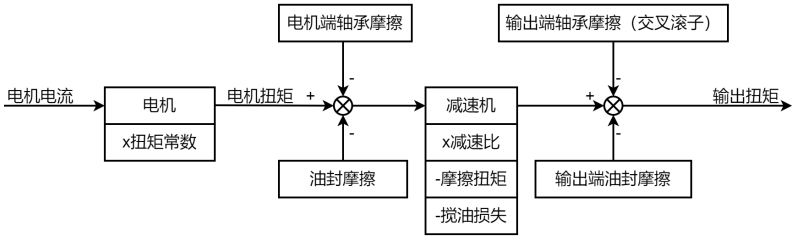


图 26-1 电机电流到输出端扭矩传递函数框图

因此，电机需足够大的初始电流才能获得输出扭矩。

同时，所有的摩擦类扭矩，动、静摩擦力不同。

密封类零件在不同温度下，接触应力不同（橡胶件硬度变化）。

温度也会导致油脂粘滞系数不同。热胀冷缩尺寸变化，温度越高，电机的扭矩常数越低。

零件尺寸的固有公差产生的密封处接触应力不同。粘滞系数相同时，搅油损失近似与转速平方成正比。

在以上因素的共同作用下，谐波减速机的传递函数并非是理想的无损模型，电机电流与输出扭矩也非线性关系。

整体来看，等负载时，温度越低，速度越大，电机需要的电流越多。

26.2 关节模组电机参数

26.2.1 结构版本代号识别

请按图 26-2 读取产品标签上的结构版本代号，并据此选择电机参数。标签不清晰或无法与表格对应时，请提供铭牌完整型号和序列号，由技术支持确认。

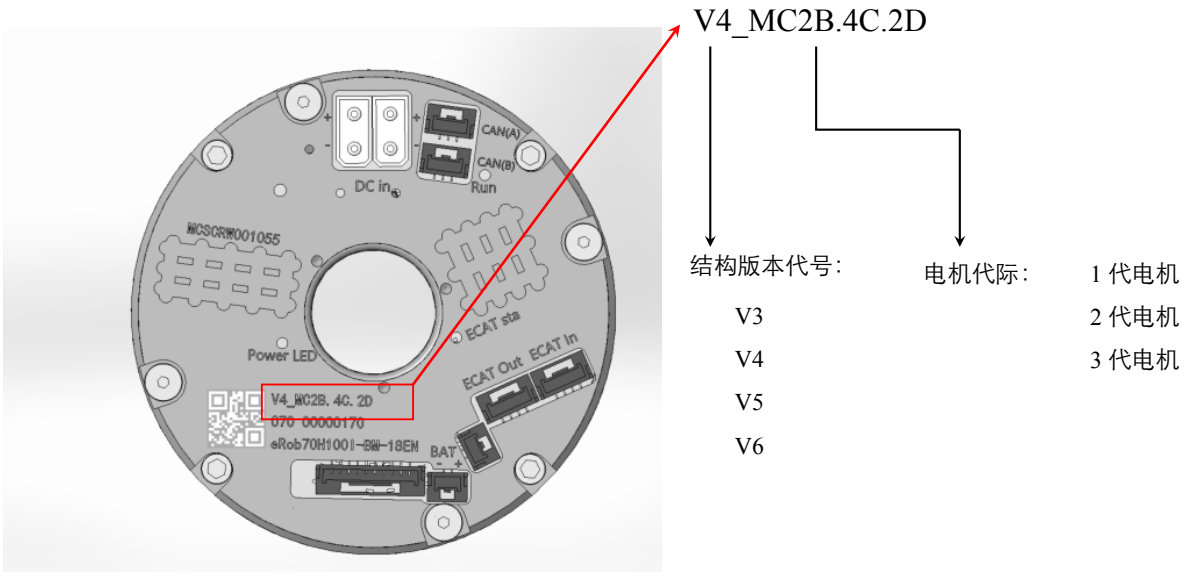


图 26-2 结构版本代号识别

26.2.2 电机参数

表 26-1 关节模组电机参数表 (A)

规格族代号	eRob70F	eRob70		eRob80F	eRob80	
结构版本代号	V3_MC2	V3_MC1	V4_MC2	V4_MC2	V3_MC1	V4_MC2 V5_MC2
No. of poles	16	10	16	16	10	16
DC Link Voltage UDC(DC Link)	48	48	48	48	48	48
Rated Power PN(W)	75	100	100	126	200	146
Rated Torque TN(Nm)	0.24	0.32	0.32	0.4	0.64	0.45
Rated Speed nN(RPM)	3000	3000	3000	3000	3000	3100
Rated Current IN(A)	1.91	3.3	2.55	3.6	6.9	3.4
Maximum torque Tm(N.m)	0.72	0.96	0.96	1.2	1.92	1.25
Maximum Current Im(A)	5.9	11	7.8	10.8	16.8	10.88
Resistance line-line RL(Ω) （±10%）	3.87	1.75	2	0.83	0.7	0.76
Inductance line-line LL(mH) （±20%）	2.54	2.5	2.46	1.362	1.362	1.32
Voltage constant Ke(V/kRPM)（±5%）	8	8.42	8.3	8.36	8.36	8.1
Torque constant Kt(Nm/A)	0.134	0.075	0.132	0.126	0.101	0.134

表 26-1A eRob70F 电机参数

参数	V4_MC2B.EX.XX	公差
极数	16	
直流母线电压 (V)	48	
额定功率 (W)	75	
额定转矩 (N • m)	0.24	
额定转速 (r/min)	3000	
额定电流 (A)	1.91	
最大转矩 (N • m)	0.72	
最大电流 (A)	5.9	
连续静态转矩 (N • m)	0.27	
连续静态电流 (A)	2.15	
线电阻 R (Ω)	2.59	±10%
闭路电感 L (mH)	2.07	±20%
反电动势常数 Ke (V/krpm)	7.24	±5%
转矩常数 Kt (N • m/A)	0.12	

表 26-2 关节模组电机参数表（B）

规格族代号	eRob90		eRob110		
结构版本代号	V3_MC1	V3_MC2	V3_MC1	V4_MC2	V6_MC2
No. of poles	10	16	10	16	16
DC Link Voltage UDC(DC Link)	48	48	48	48	48
Rated Power PN(W)	400	293	750	750	723
Rated Torque TN(Nm)	1.27	0.85	2.4	2.39	2.3
Rated Speed nN(RPM)	3000	3300	2000	3000	3000
Rated Current IN(A)	11	6.7	20	18.6	18.9
Maximum torque Tm(N.m)	3.81	2.55	7.2	7.17	6
Maximum Current Im(A)	29	21.44	40	61	50
Resistance line-line RL(Ω)（±10%）	0.22	0.31	0.119	0.093	0.084
Inductance line-line LL(mH)（±20%）	0.6	0.86	0.2	0.2	0.16
Voltage constant Ke(V/kRPM)（±5%）	8.43	8.3	8.65	8	8.1
Torque constant Kt(Nm/A)	0.088	0.14	0.112	0.132	0.134

表 26-2 关节模组电机参数表（B，续）

规格族代号	eRob142		eRob170	
结构版本代号	V3_MC1	V4_MC2	V3_MC1	V3_MC2
No. of poles	10	10	10	10
DC Link Voltage UDC(DC Link)	48	48	48	48
Rated Power PN(W)	1000	1000	1000	1000
Rated Torque TN(Nm)	4.78	4.78	4.78	4.78
Rated Speed nN(RPM)	2000	2000	2000	2000
Rated Current IN(A)	26	22	26	22
Maximum torque Tm(N.m)	15	14.3	15	14.3
Maximum Current Im(A)	56	71	56	71
Resistance line-line RL(Ω)（±10%）	0.069	0.059	0.069	0.059
Inductance line-line LL(mH)（±20%）	0.37	0.38	0.37	0.38
Voltage constant Ke(V/kRPM)（±5%）	12.2	13.5	12.2	13.5
Torque constant Kt(Nm/A)	0.153	0.22	0.153	0.22

注：上述表 26-1 和表 26-2 所示电机参数为电机出厂的参数，其中电机的额定扭矩并不等于模组的额定扭矩，电机的额定扭矩只是用于通用机器人的模型计算，关节模组的额定扭矩以减速机的额定扭矩为准，这两个值并不相等，关节模组的额定扭矩请查看本手册第二章《关节基本参数》。

驱动器里的额定电流也并非对应模组的额定扭矩，驱动器的额定电流是以模组整机发热容许的热容量为上限设置的。

关节模组扭矩常数（Nm/A）、输出扭矩（Nm）计算公式：

（1）关节模组扭矩常数 = 电机扭矩常数 (Torque constant) * 减速比 * 传动效率（通常在 50%~70%，效率曲线如图 26-3 所示）。

（2）关节模组输出扭矩 = 关节模组扭矩常数 * 电机实际电流（可通过对象字典 0x6078 获取，该对象字典说明如表 26-3）。

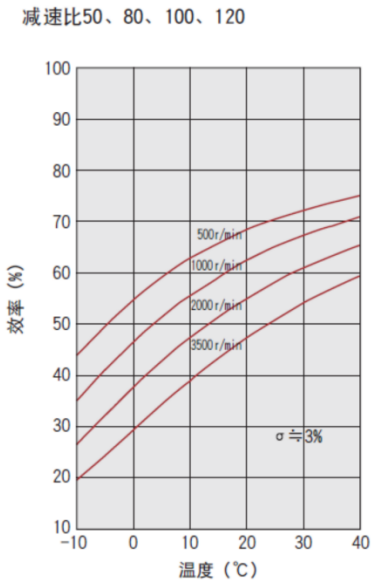


图 26-3 额定转矩时的效率

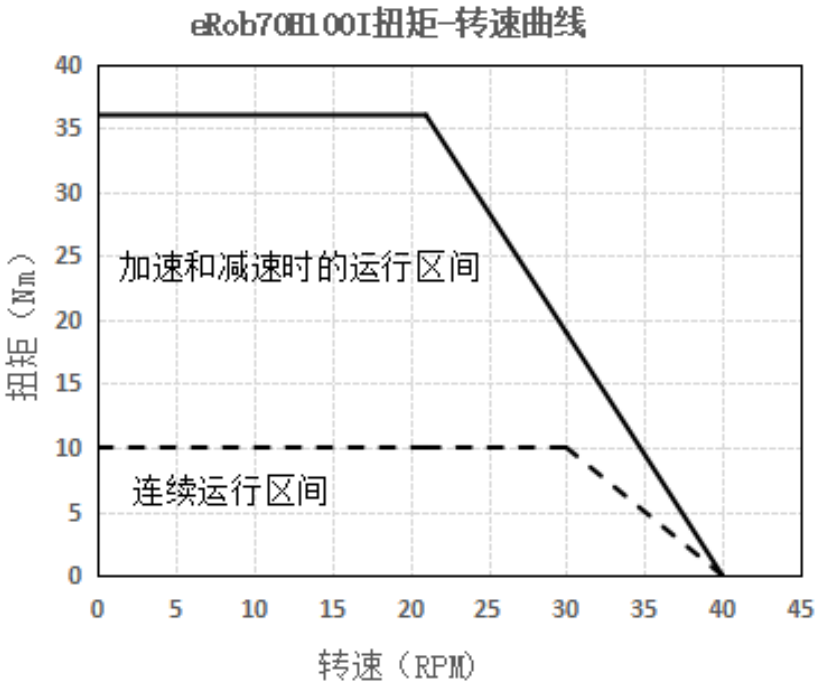
表 26-3 电机实际电流（0x6078）

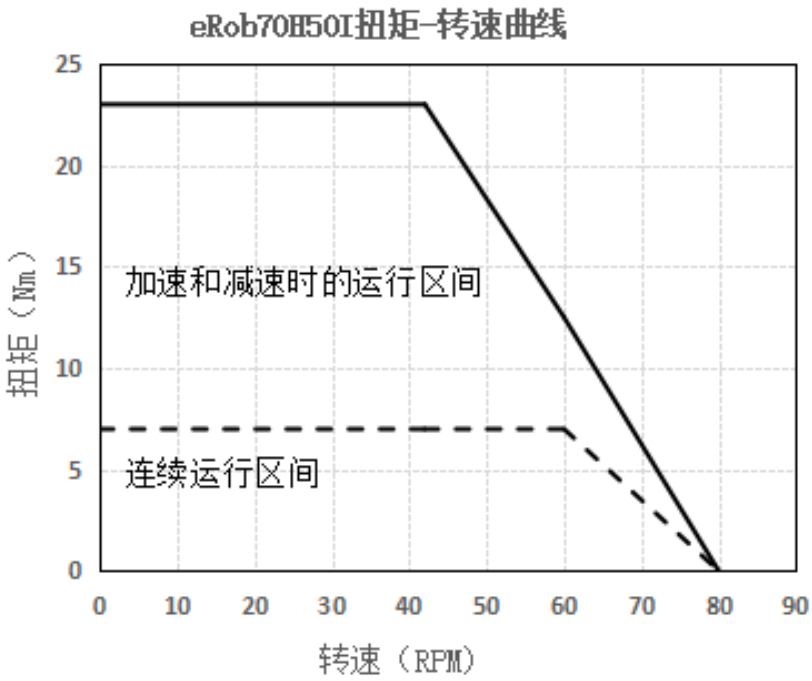
索引	0x6078	对象	变量	名称	电机实际电流
子索引	PDO 映射	读写操作	数据格式	单位	描述
0x00	TxPDO	只读	INT16	1‰	电机实际电流为实时采样电机的三相电流的瞬时值合成计算得到的电流值，以额定电流（通过对象字典 0x6075 获取）千分比给出，即电机实际电流（mA）=0x6078 值 ×（0x6075 值）/1000

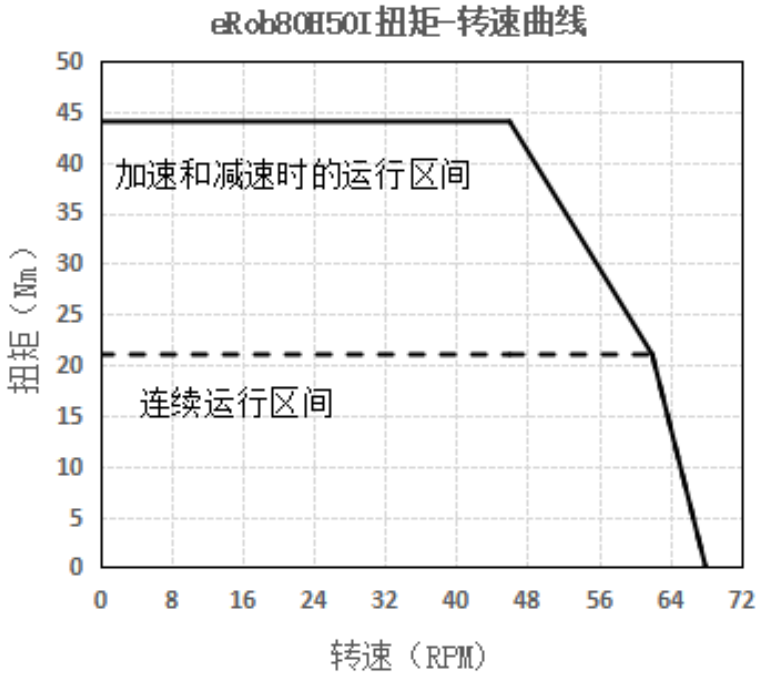
表 26-4 额定电流（0x6075）

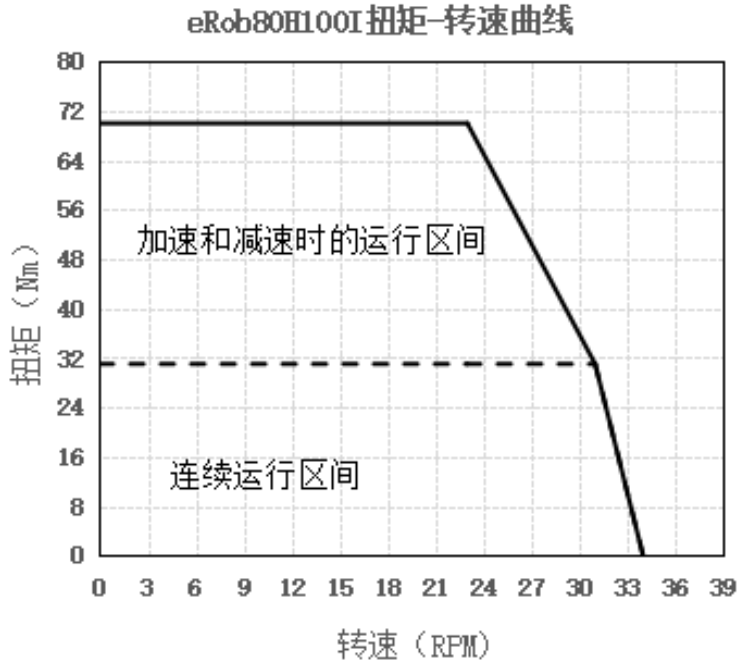
索引	0x6075	对象	变量	名称	额定电流
子索引	PDO 映射	读写操作	数据格式	单位	描述
0x00	NO	可读可写	UDINT32	mA	此对象索引对应 eTuner 安装调试软件安全电源界面：持续电流。eTunerII 对应“设备参数 → 安全电源 → 持续电流”，操作见附录 4（A4.3）。

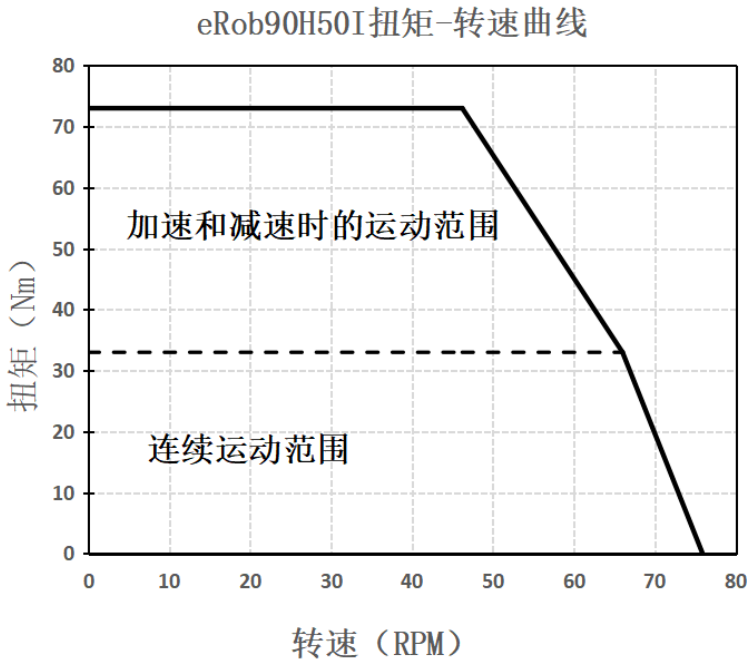
26.3 关节模组输出扭矩-转速曲线

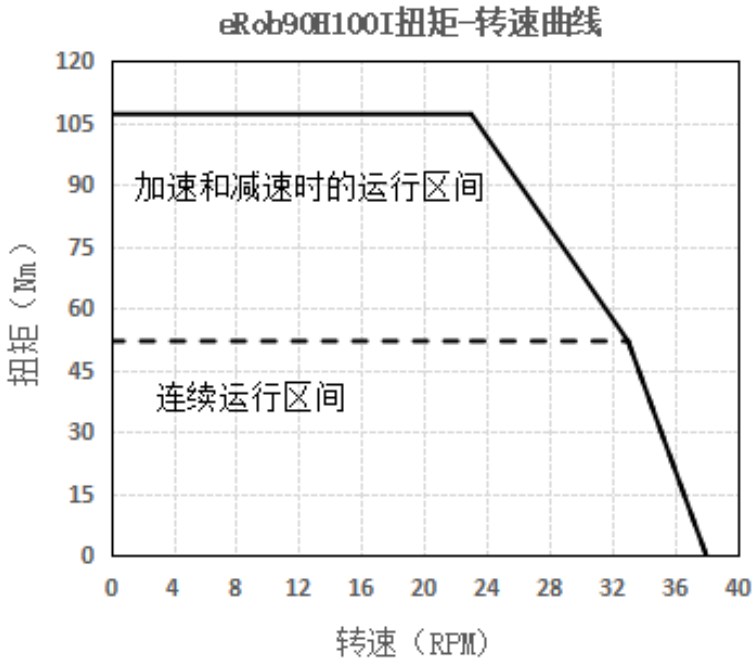


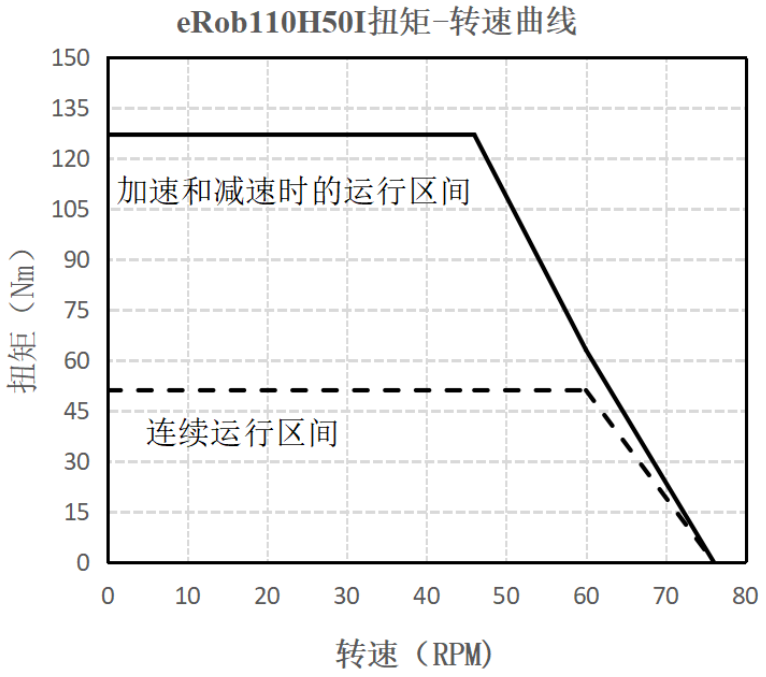


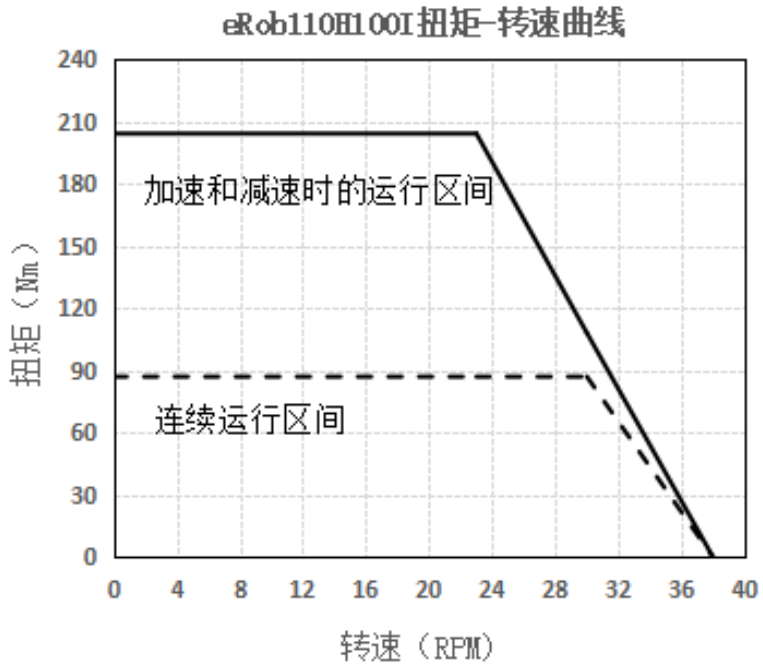

eRob80H50I扭矩-转速曲线
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
扭矩（Nm）
加速和减速时的运行区间
连续运行区间
0
8
16
24
32
40
48
56
64
72
转速（RPM）

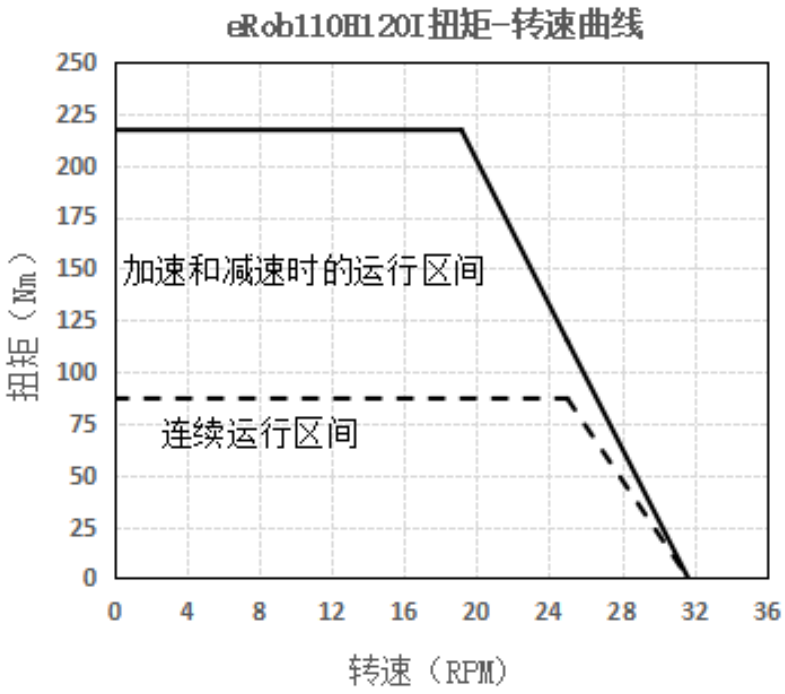

eRob80H100I扭矩-转速曲线
80
72
64
56
48
40
32
24
16
8
0
扭矩（Nm）
加速和减速时的运行区间
连续运行区间
0
3
6
9
12
15
18
21
24
27
30
33
36
39
转速（RPM）

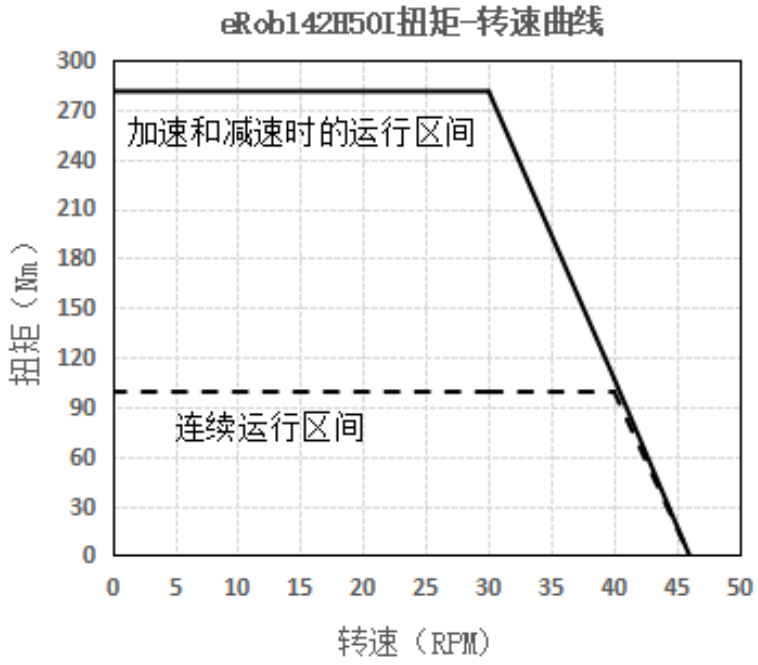

eRob90H50I扭矩-转速曲线
80
70
60
50
40
30
20
10
0
扭矩（Nm）
加速和减速时的运动范围
连续运动范围
0
10
20
30
40
50
60
70
80
转速（RPM）


eRob90H100I扭矩-转速曲线
120
105
90
75
60
45
30
15
0
扭矩（Nm）
加速和减速时的运行区间
连续运行区间
0
4
8
12
16
20
24
28
32
36
40
转速（RPM）

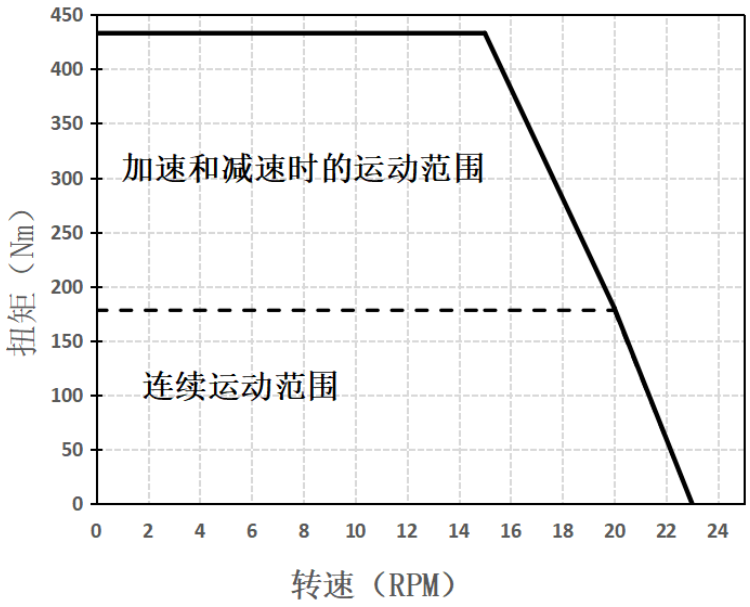

eRob110H50I扭矩-转速曲线
150
135
120
105
90
75
60
45
30
15
0
加速和减速时的运行区间
连续运行区间
扭矩（Nm）
0
10
20
30
40
50
60
70
80
转速（RPM）


eRob110H100I扭矩-转速曲线
240
210
180
150
120
90
60
30
0
加速和减速时的运行区间
连续运行区间
扭矩（Nm）
0
4
8
12
16
20
24
28
32
36
40
转速（RPM）

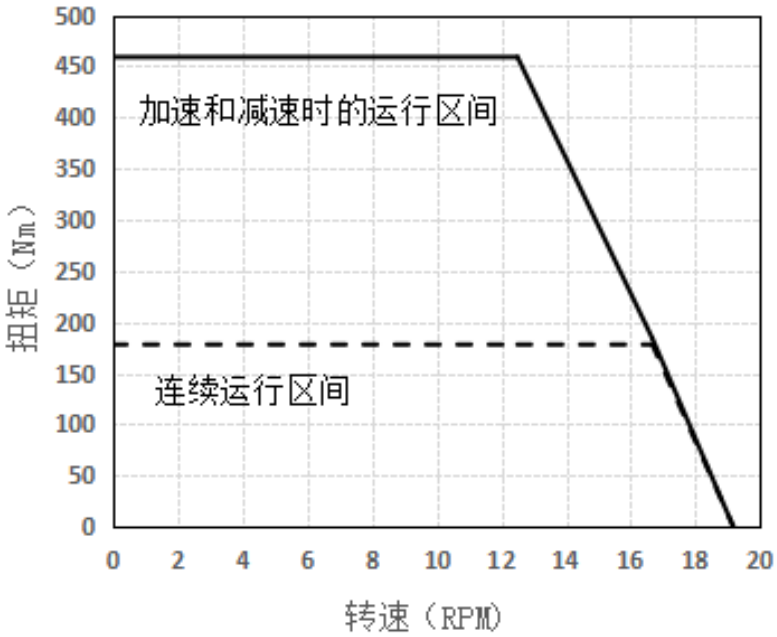

eRob110H120I扭矩-转速曲线
250
225
200
175
150
125
100
75
50
25
0
扭矩（Nm）
加速和减速时的运行区间
连续运行区间
0
4
8
12
16
20
24
28
32
36
转速（RPM）


eRob142H50I扭矩-转速曲线
300
270
240
210
180
150
120
90
60
30
0
扭矩（Nm）
加速和减速时的运行区间
连续运行区间
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
转速（RPM）

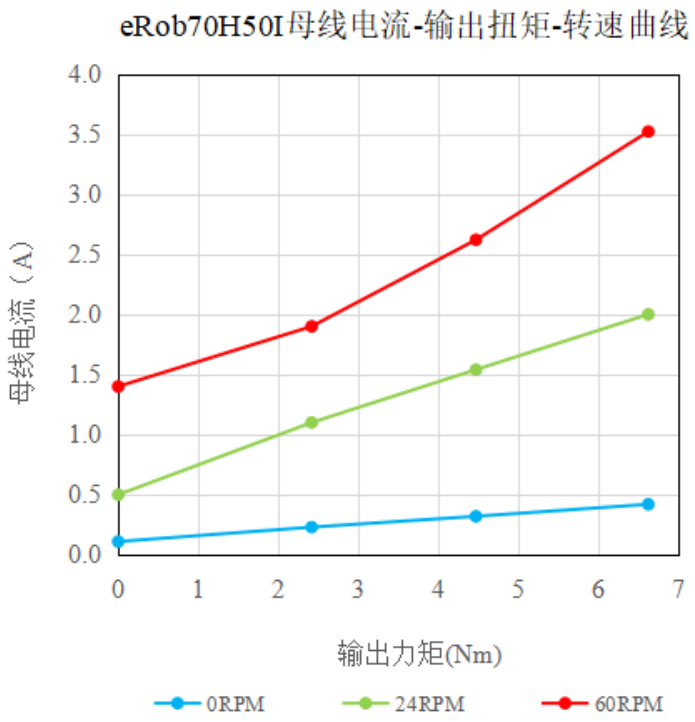
eRob142H100I扭矩-转速曲线



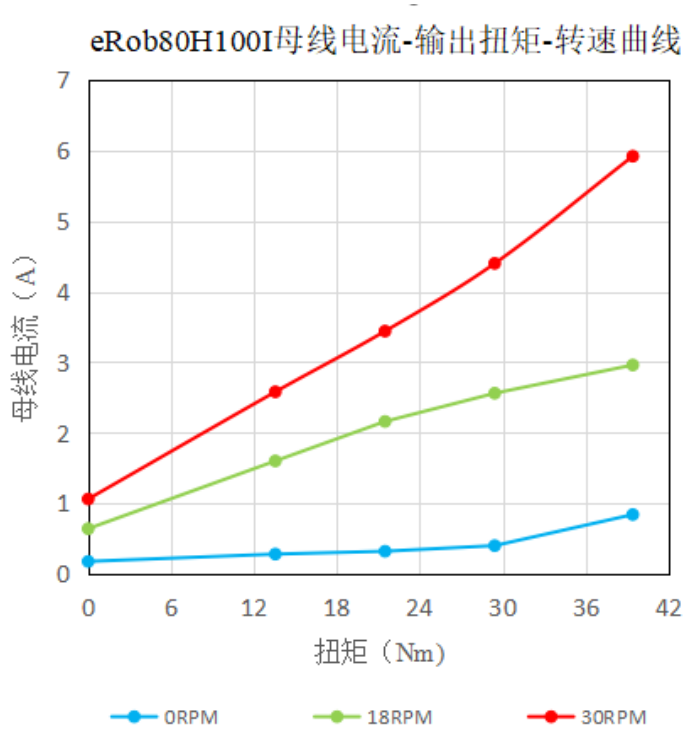
eRob142H120I扭矩-转速曲线



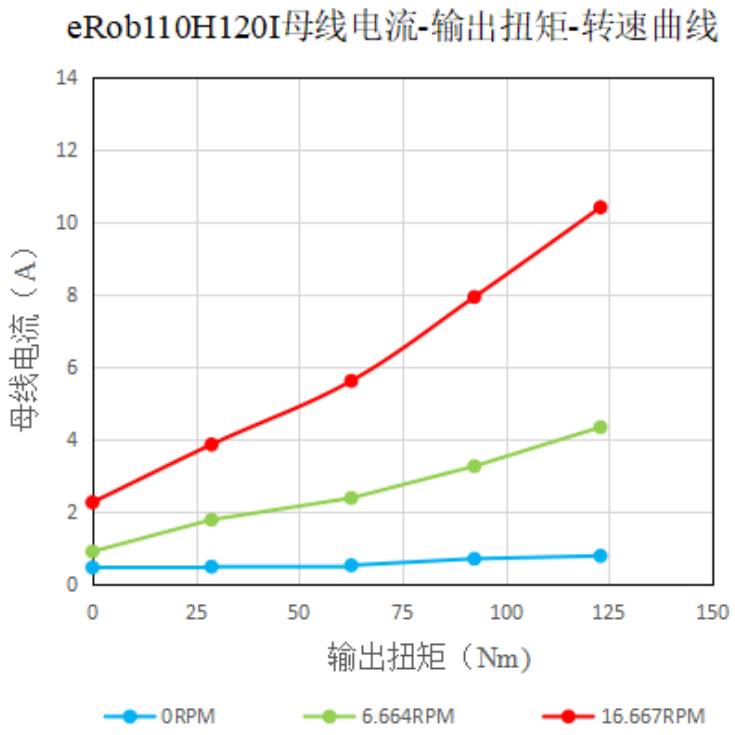
26.4 关节模组母线电流-输出扭矩-转速曲线



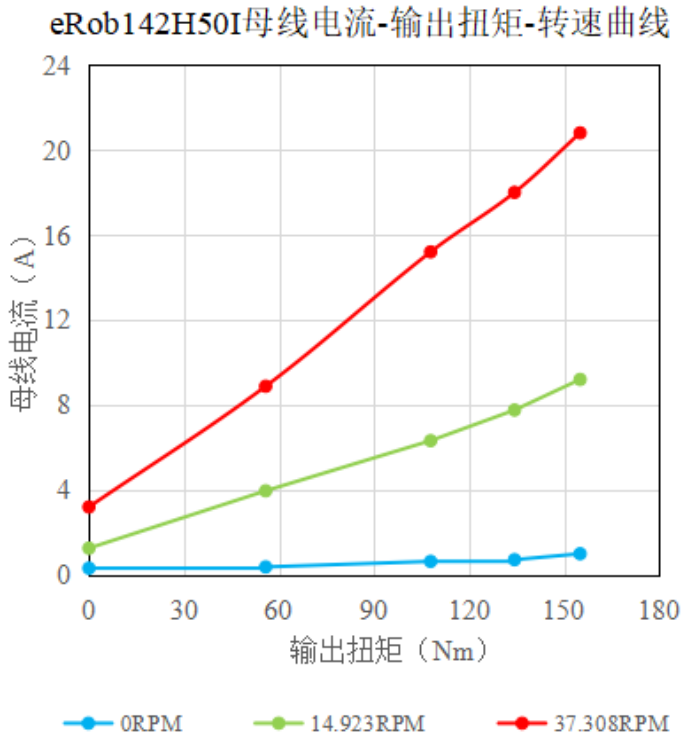
eRob70H50I 母线电流-输出扭矩-转速曲线数据				
输出扭矩 / 母线电流 / 转速	0 Nm	2.415 Nm	4.466 Nm	6.617 Nm
0RPM	0.11A（39℃）	0.23A（41℃）	0.32A（39℃）	0.42A（38℃）
24RPM	0.50A（40℃）	1.10A（42℃）	1.54A（38℃）	2.00A（37℃）
60RPM	1.40A（40℃）	1.90A（37℃）	2.62A（41℃）	3.52A（39℃）



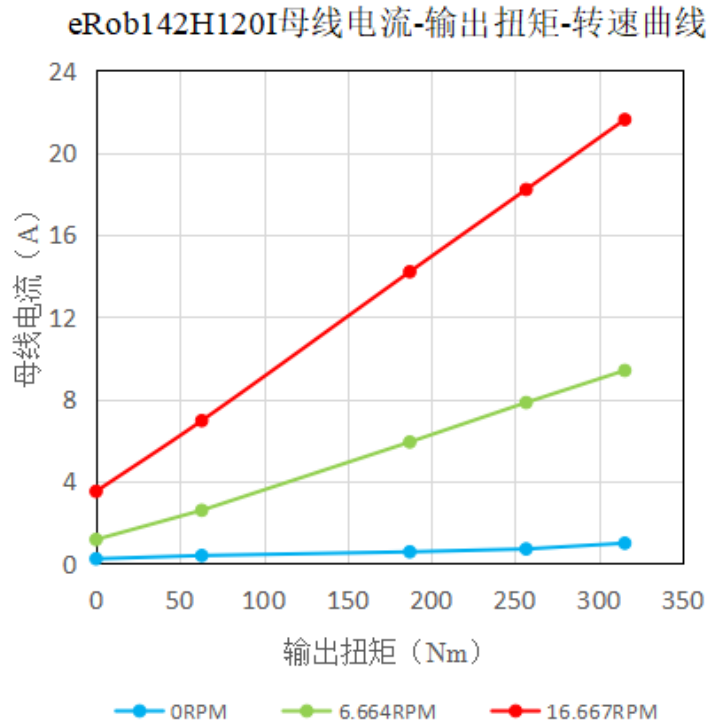
eRob80H100I 母线电流-输出扭矩-转速曲线数据					
输出扭矩 / 母线电流 / 转速	0 Nm	13.539 Nm	21.475 Nm	29.409 Nm	39.398 Nm
0RPM	0.17A（38℃）	0.28A（41℃）	0.32A（38℃）	0.40A（40℃）	0.84A（41℃）
18RPM	0.64A（40℃）	1.60A（38℃）	2.16A（42℃）	2.56A（42℃）	2.96A（40℃）
30RPM	1.06A（41℃）	2.58A（39℃）	3.44A（44℃）	4.40A（42℃）	5.92A（40℃）



eRob110H120I 母线电流-输出扭矩-转速曲线数据					
输出扭矩 / 母线电流 / 转速	0 Nm	28.803 Nm	62.621 Nm	92.407 Nm	122.929Nm
0RPM	0.44A（35°C）	0.46A（35°C）	0.50A（37°C）	0.68A（40°C）	0.76A（39°C）
6.664RPM	0.88A（38°C）	1.76A（36°C）	2.36A（38°C）	3.24A（39°C）	4.32A（41°C）
16.667RPM	2.24A（41°C）	3.84A（36°C）	5.6A（38°C）	7.92A（40°C）	10.4A（41°C）



eRob142H50I 母线电流-输出扭矩-转速曲线数据					
输出扭矩 / 母线电流 / 转速	0 Nm	55.804 Nm	107.886Nm	134.383Nm	155.084Nm
0RPM	0.32A（41°C）	0.38A（37°C）	0.64A（41°C）	0.72A（42°C）	1.00A（39°C）
14.923RPM	1.26A（40°C）	3.96A（38°C）	6.32A（43°C）	7.76A（42°C）	9.20A（38°C）
37.308RPM	3.20A（40°C）	8.88A（40°C）	15.20A（43°C）	18.00A（41°C）	20.80A（39°C）



eRob142H120I 母线电流-输出扭矩-转速曲线数据					
输出扭矩 / 母线电流 / 转速	0 Nm	63.059Nm	187.186Nm	256.616Nm	315.476Nm
0RPM	0.24A（36℃）	0.40A（41℃）	0.58A（42℃）	0.72A（40℃）	1.00A（42℃）
6. 664RPM	1.18A（38℃）	2.6A（40℃）	5.92A（40℃）	7.84A（43℃）	9.40A（40℃）
16. 667RPM	3.52A（38℃）	6.96A（40℃）	14.20A（39℃）	18.20A（41℃）	21.60A（40℃）

二十七、 故障排查说明

软件适用：本章接线、供电及机械检查适用于两款软件；eTuner 的操作见本章相应步骤、截图与报错示例。eTunerII 扫描及 CAN ID 见附录 4（A4.10），自检、故障记录及取证见附录 4（A4.11）。请按软件选择对应流程。

表 27-1 故障排查和解决

问题分类	报警提示或现象	可能原因	解决措施
CAN 通信异常	RUN LED 指示灯不亮	1. 未使用正确供电电源。 2. 关节 48V 电源输入端过压，造成硬件故障。	1. 使用 48VDC 电源供电，注意电源正负极接线顺序。 2. 建议选用我司的 ePower 电源。
CAN 通信异常	RUN LED 指示灯正常，点击 eTuner 安装调试软件“连接测试”按钮提示：请检查驱动器是否上电	1. 关节的 CAN 接口与 eRob 调试器未正常连接。 2. CAN 接口引脚串入强电，造成 CAN 接口部分元器件烧坏，通信断开。	1. 检查 CAN 接线顺序，确保连接良好 2. 检查测量 CAN 接口阻值。
CAN 通信异常	eTuner 安装调试软件连接测试识别 CAN ID 数量少于实际连接数量	1.CAN 总线上存在相同 CAN ID 的从站。	1. 单独连接各个轴，重新设置 CAN ID，确保 ID 唯一。
CAN 通信异常	eTuner 安装调试软件连接后，状态监控界面数据显示跳变异常	1.CAN 总线上存在相同 CAN ID 的从站。 2. 关节 CAN 端口接线与 eRob 调试器的端口接线不一致。	1. 单独连接各个轴，重新设置 CAN ID，确保 ID 唯一。 2. 检查关节 CAN 端口与 eRob 调试器的接线，确保接线一一对应。
EtherCAT 通信异常	网口灯不亮	1.EtherCAT 总线接线不良 2. 关节 PCB 硬件故障	1. 检查网线接线顺序和连通情况，确保连接良好。
EtherCAT 通信异常	网口灯闪一段时间后不闪	1.EtherCAT 总线接线不良 2. 关节 PCB 硬件故障	1. 检查网线接线顺序和连通情况，确保连接良好。
EtherCAT 通信异常	修改从站别名后通信异常或报 EtherCAT 初始化错误	EEPROM 配置区校验不匹配，或重启后加载的别名与目标配置不一致。	按第 27.2 节第 8 项检查；使用经过验证的主站工具配套更新别名和 CRC，读回并重启确认。

注：更多报错信息及处理详见本手册附录 2“错误代码及处理”。

27.1 CAN 通信异常的排查步骤

27.1.1 eTuner 安装调试软件“连接测试”时提示：请检查驱动器是否上电

出现表 27-1 中 eTuner 安装调试软件无法连接时按照以下步骤进行确认：

1、检查关节 RUN_LED 指示灯状态

关节正常运行时 RUN_LED 指示灯为呼吸闪烁状态。若状态不正常，CAN 通信无法连接。

2、若 RUN_LED 指示灯状态异常，检查电源供电电压和接线

（1）检查电源正负极接线顺序，请参照本手册第 6.1 节“电源接线方式说明”。

（2）关节驱动正常工作的电源供电电压为 DC24V~48V（最低允许输入电压详见本手册第 3.3 节“eRob 能容许的最低输入电压”），用万用表测量电源输出电压是否在该电压范围。

（3）电源断电，连接物理示波器测量电源开关通电瞬间的电压输出波形，确认是否存在过压冲击（＞ 60V 的情况），请参照本手册第 3.2 节“eRob 能容许的最高输入电压”。

3、若 RUN_LED 指示灯状态正常，点击 eTuner 安装调试软件“连接测试”按钮提示：“请检查驱动器是否上电”，进一步检查 CAN 接线

（1）关节断电，检查关节 CAN 接口与 eRob 调试器接线，请参照本手册第十三章“连接 eTuner 安装调试软件”，确保调试器压线端子与 CAN 线线芯有效压接、接线顺序正确并导通。

（2）重新拔插 USB 线，确保 USB 线与 eRob 调试器、电脑 USB 接口有效连接。

（3）关节上电，关闭并重新打开 eTuner 安装调试软件，点击“连接测试”按钮，确认是否正常识别关节 CAN ID。

4、若 eTuner 安装调试软件仍提示：“请检查驱动器是否上电”，将关节断电，用万用表测量关节 CAN 接口阻值

测量 CAN_L 对 CAN_GND 电阻阻值正常约为 61KΩ~65KΩ、CAN_H 对 CAN_GND 电阻阻值正常约为 61KΩ~65KΩ，阻值正常如图 27-1 所示，阻值异常如图 27-2 所示。测量 CAN_L 对 CAN_H 电阻阻值正常约为 2KΩ。

若阻值异常，请确认使用过程中是否带电插拔 CAN 线，带电时插拔 CAN 线易导致 CAN 接口损坏。



图 27-1 CAN 通信正常电阻测量值



图 27-2 CAN 通信异常电阻测量值

27.1.2 eTuner 安装调试软件连接测试识别 CAN ID 数量少于实际连接数量

检查关节 CAN 接口与 eRob 调试器的接线、关节与关节之间 CAN 接口的接线（请参照本手册第十三章“连接 eTuner 安装调试软件”和第 6.2 节“CAN/CANopen 通信接线图”），确保接线一一对应并导通。

将关节断电，eRob 调试器单独连接各个关节，然后关节上电，连接 eTuner 安装调试软件打开连接设置界面，重新设置 CAN ID（设置步骤如图 27-3 所示），确保各关节 ID 唯一。



图 27-3 修改 CAN ID 步骤

将关节断电，CAN 总线重新级联组网（参照本手册第 6.2 节“CAN/CANopen 通信接线图”），然后关节上电，打开 eTuner 安装调试软件连接界面重新连接测试。

27.1.3 eTuner 安装调试软件状态监控界面数据显示跳变异常

1、检查关节 CAN 接口与 eRob 调试器的接线、关节与关节之间 CAN 接口的接线（请参照本手册第十三章“连接 eTuner 安装调试软件”和第 6.2 节“CAN/CANopen 通信接线图”），确保接线一一对应并导通。

2、将关节断电，eRob 调试器单独连接各个关节，然后关节上电，连接 eTuner 安装调试软件打开连接设置界面，重新设置 CAN ID（设置步骤如图 27-3 所示），确保各关节 ID 唯一。

3、将关节断电，CAN 总线重新级联组网（参照本手册第 6.2 节“CAN/CANopen 通信接线图”），然后关节上电，打开 eTuner 安装调试软件连接界面重新连接测试。

27.2 EtherCAT 通信异常的排查步骤

1、请提供使用的 EtherCAT 主站控制器品牌、型号给我司技术支持确认是否为已适配范围。

2、检查 EtherCAT 主站控制器工作状态是否正常。

3、检查关节 RUN_LED 指示灯状态

关节正常运行时 RUN_LED 指示灯为呼吸闪烁状态。若状态不正常，EtherCAT 通信无法连接。

4、若 RUN_LED 指示灯状态异常，检查电源供电电压和接线

（1）检查电源正负极接线顺序，请参照本手册第 6.1 节“电源接线方式说明”。

（2）关节驱动正常工作的电源供电电压为 DC24V~48V（最低允许输入电压详见本手册第 3.3 节“eRob 能容许的最低输入电压”），用万用表测量电源输出电压是否在该电压范围。

（3）电源断电，连接物理示波器测量电源开关通电瞬间的电压输出波形，确认是否存在过压冲击（＞ 60V 的情况），请参照本手册第 3.2 节“eRob 能容许的最高输入电压”。

5、若电源正常供电，上电后 RUN_LED 指示灯正常闪烁，ECAT In 指示灯或 ECAT Out 指示灯不亮，进一步检查 EtherCAT 接线

（1）检查 EtherCAT 通讯线接线顺序，请参照本手册第 6.3 节“EtherCAT 通信接线图”，用万用表测量确认是否连通，检查接插件是否松动、破损、变形、断线，确保接线顺序正确并导通，确保线缆固定无松动。

（2）参考本手册第 5.1 节“指示灯功能”再次确认模组的指示灯状态是否正常，若 EtherCAT 指示灯不亮，检查关节 EtherCAT 接口是否存在松动、破损。

6、若以上确认均无异常，请重新整机断电，然后关节先上电，控制器再上电，等待控制器初始化完成后确认通信连接情况。

从电源打开到伺服使能操作时序请参照《eRob CANopen and EtherCAT 用户手册》第 5.1 节“操作时序”。

7、替换正常模组和正常 EtherCAT 通信线缆交叉验证测试，然后按步骤 6 操作后确认 EtherCAT 通信是否恢复正常。

8、若修改 EtherCAT 从站别名后无法正常通信，检查别名及配置校验码（以 TwinCAT 为例）

本项适用于修改从站别名后出现的异常。TwinCAT 的下载安装参见《eRob CANopen and EtherCAT 用户手册》第 6 章。操作前停止设备运动并保持下使能，确认目标模组及主站软件版本属于已验证的适用组合；写入期间保持供电和通信稳定。

（1）连接并识别目标从站。将电脑的 EtherCAT 网口连接模组 ECAT IN 并上电，打开 TwinCAT 工程并切换至 Config Mode。在“I/O → Devices”下执行“Scan”，选择对应网卡并扫描从站。选中目标“Drive（ZeroErr Driver）”，打开“EtherCAT → Advanced Settings…”。

（2）确认访问权和当前别名。进入“ESC Access → E²PROM”，确认主站具备 EEPROM 访问及写入权限；若 EEPROM 由 PDI 占用、处于写保护或读写报错，先按该设备经过验证的方式处理访问权，无法确认时联系技术支持，不继续写入。在“Configured Station Alias”中，“Actual Value（E²PROM）”表示 EEPROM 保存的别名，“Actual Value（Register）”表示加载到寄存器的别名。刚写入但尚未重启时，两者可能不同，不能仅凭这一差异判定故障。

（3）读取并备份。进入“E²PROM → Hex Editor”，点击“Upload”读取设备数据，再通过“Write to File…”保

存写入前的 BIN 文件。保存设备型号、固件版本、主站版本、目标别名和当前错误信息。

（4）核对别名和配置区校验。Hex Editor 中的字节偏移 0x0008～0x0009 为别名，低字节在前；例如十进制 1001 对应 0x03E9，字节为 E9 03。0x0000～0x000D 参与配置区 CRC 计算，0x000E 存放该校验值。校验时应使用与 ESC 配置区算法一致且经过验证的工具，不能套用任意 CRC 默认设置或图中的示例值。该配置区校验不是以太网帧 CRC。

（5）配套重新写入。若校验不匹配，返回“Configured Station Alias”，在“New Value”输入目标别名，再点击“Write to E²PROM”。使用经过兼容性验证、支持别名与 CRC 配套更新的 TwinCAT 版本或其他 EtherCAT 主站软件；不要只修改别名字节。等待写入完成且没有报错。

（6）读回并重启确认。再次进入 Hex Editor 执行“Upload”，确认别名及 CRC 正确并保存写入后的 BIN 文件。写入完成后保持供电至少 10 秒，再断电重新上电。重新读取 EEPROM 及 Register，确认两处均为目标别名；在主站配置正确的前提下检查从站“Online → Current State”是否恢复为 OP。进入 OP 仅表示通信状态，不等于已经使能或完成运动验证。

（7）仍有异常时保留证据。若写入报错、重启后别名仍不一致或仍无法进入 OP，请将错误截图、设备和主站版本、目标别名以及写前/写后 BIN 提供给技术支持，继续按初始化错误的其他原因排查。

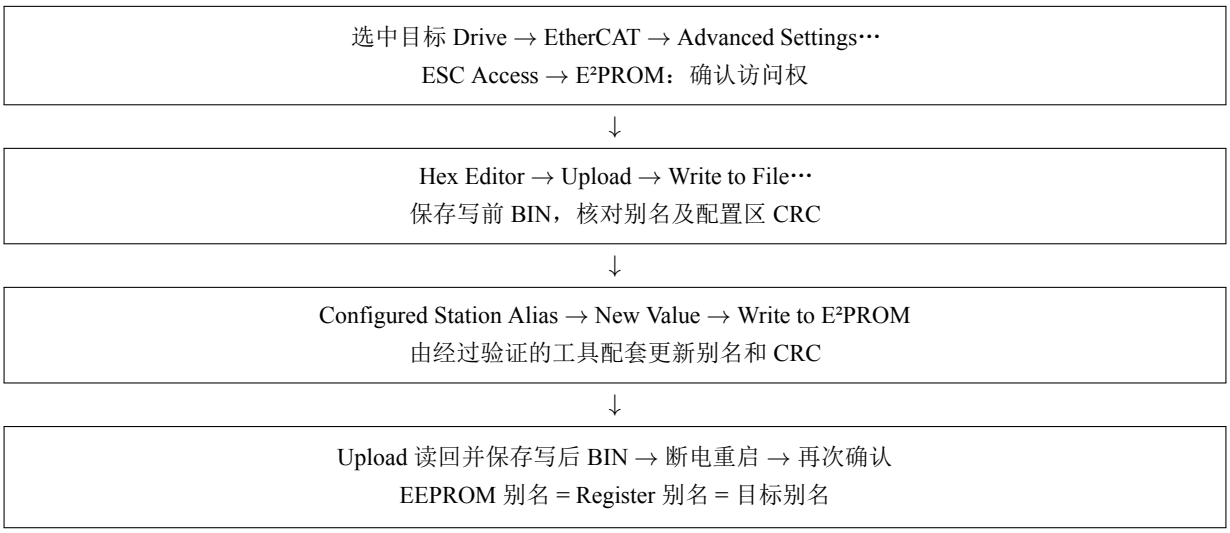


图 27-4 EtherCAT 从站别名修改后的检查流程（操作路径示意）

27.3 电机堵转报错的排查步骤

软件适用：以下 V13.72 自检步骤、视频及报告目录适用于 eTuner；eTunerII 按附录 4（A4.11）执行，使用新版记录目录和测试范围。

电机堵转报错原因和处理说明详见《eRob CANopen and EtherCAT 用户手册》第 7.2.10 节“0x7121（28961）：电机堵转”，具体可按如下步骤排查：

1、确认该报错的关节模组输出轴连接负载扭矩是否超出本手册第二章《关节基本参数》规定的平均负载转矩的容许最大值，请勿超出该最大值使用。

2、检查关节模组输出轴连接部分是否与外部存在干涉，模组输出端安装间隙（用塞尺确认）是否正常，排除外部可能的干涉。

3、使用 eTuner 安装调试软件 V13.72 自检功能进行自检测试，检查模组参数、运动状态是否正常。

注意：确保模组在空载状态下进行自检测试，如果模组非空载状态，则只获取模组信息，不进行全项测试；如 eTuner 安装调试软件的状态监控界面显示报错则先点击运动界面的使能按钮清除报错然后点击主界面的马达停止按钮后再进行自检测试。

自检功能使用说明详见我司官方抖音视频：零差云控上位机自检功能演示。

测试完后检查测试数据（存放文件夹路径：eTuner_V13.72\Self_check_report），测试数据可以帮助分析。

4、单独给关节模组采用 DC48V 电源供电，关节空载静止状态，然后进入 eTuner 安装调试软件进入马达设置界面点击释放刹车按钮（操作步骤详见本手册第 7.3 节），检查 3 秒后电源输出电流是否超出正常值（参考本手册第 7.4 节“制动器异常判断方法”中的表 7-5）。

5、若以上检查均正常仍报错电机堵转，则联系我司技术支持远程确认。

eTunerII（新版）：自检与测试记录

使用 eTunerII 时，确认模组空载、可靠固定且运动空间满足条件，再在“**自检**”页按随附帮助第 11 节“自检与测试记录”执行。测试结束后核对测试结果、清理情况与**记录保存状态**；新版测试范围和记录目录见附录 4（A4.11）。

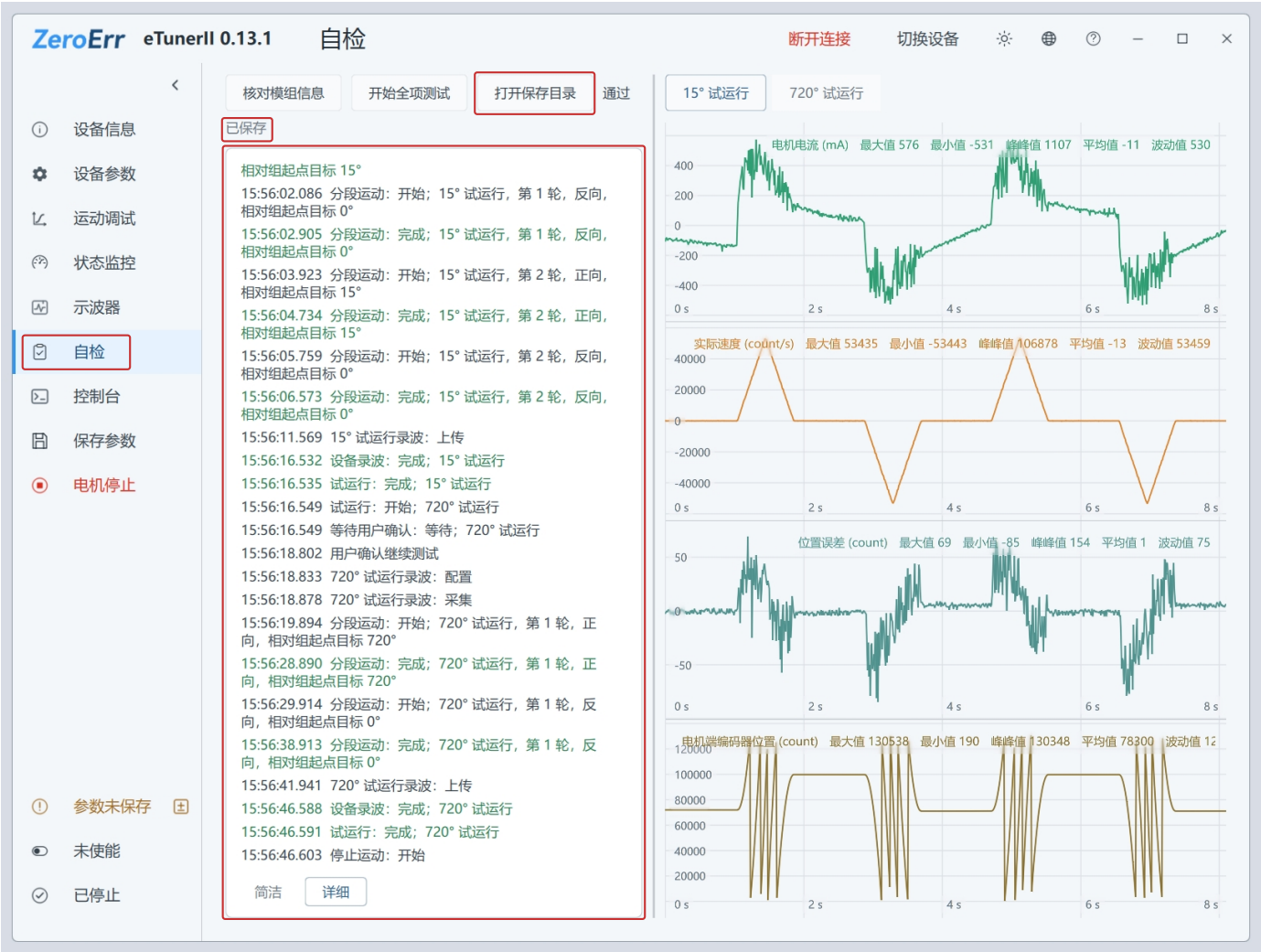


图 27-4A eTunerII 自检（浅色界面）

截图用于识别界面与入口，图中状态、数值和波形均为示例，不作为推荐参数或验收指标。

左侧“**测试记录**”用于查看测试过程与结果，“**打开保存目录**”用于查找本次测试记录文件；右侧显示试运行波形。新版自检界面也适用于第 27.4 节中的自检入口说明；请按所用软件选择对应流程。

27.4 速度误差超限报错的排查步骤

软件适用：以下自动故障录波流程适用于 eTuner；eTunerII 没有完全等效的故障自动触发入口，应按附录 4（A4.11）采集并注明条件。

速度误差超限报错原因和处理说明详见《eRob CANopen and EtherCAT 用户手册》第 7.2.24 节“0x8400（33792）：速度误差超出限制值”，具体可按如下步骤排查：

1、确认该报错的关节模组输出轴连接负载扭矩是否超出本手册第二章《关节基本参数》规定的平均负载转矩的容许最大值，请勿超出该最大值使用。

2、检查关节模组输出轴连接部分是否与外部存在干涉，模组输出端安装间隙（用塞尺确认）是否正常，排除外部可能的干涉。

3、确认主站控制器下发的目标指令轨迹规划的速度、加速度是否超出本手册第十二章《减速比的解析》表 12-1 规定的最大速度和加速度，请勿超出该最大值使用。

4、确认 eTuner 安装调试软件 V13.72 安全速度界面设定的最大允许速度是否过低，当最大允许速度设定小于主站控制器下发的目标指令轨迹规划的速度时会导致速度误差超出限制值报错。

5、使用 eTuner 安装调试软件 V13.72 自检功能进行自检测试，检查模组参数、运动状态是否正常。

注意：确保模组在空载状态下进行自检测试，如果模组非空载状态，则只获取模组信息，不进行全项测试；如 eTuner 安装调试软件的状态监控界面显示报错则先点击运动界面的使能按钮清除报错然后点击主界面的马达停止按钮后再进行自检测试。

自检功能使用说明详见我司官方抖音视频：零差云控上位机自检功能演示。

测试完后检查测试数据（存放文件夹路径：eTuner_V13.72\Self_check_report），测试数据可以帮助分析。

6、通过 eTuner 安装调试软件 V13.72 的故障诊断功能，然后复现该报错，触发后示波器将自动采集相关数据（包括目标位置 0x607A、实际速度 0x606C、电机电流等）并绘制曲线，可以将曲线保存后发送我司技术支持进一步分析。

7、若以上检查均正常仍报错速度误差超出限制值，则联系我司技术支持远程确认。

27.5 断电重启后关节位置多一圈或少一圈的排查步骤

软件适用：下文历史错误的查看步骤适用于 eTuner；eTunerII 故障记录见附录 4（A4.11），编码器重置见附录 4（A4.5）。CAN 故障码与下述 0x603F 对象错误码不能仅按进制转换对应。

控制部分位为 S/HS 的单圈配置出现该故障时，排查步骤如下：

确认关节运动的行程范围内关节位置反馈值是否超出输出端单圈位置范围（0~524287）。需确保关节行程不超过一圈且行程范围内关节位置反馈值不会出现越过输出端单圈编码器边界位置 (0 和 524287) 的情况，使用单圈型号的关节相关注意事项详见本手册第 9.3 节“使用单圈功能的关节位置和注意事项”。

若关节行程未超过一圈但是关节位置反馈值有越过边界位置 (0 或 524287)，则重新调整关节减速机输出端的安装位置，也可以按照本手册第 9.5.1 节“单圈关节机械零点标定功能”的方法重新标定零点位置。

控制部分位为 M/HM 的多圈配置出现该故障时，排查步骤如下：

（1）将关节断电，然后关节连接 eRob 调试器（参照本手册第十三章《连接 eTuner 安装调试软件》），关节重新上电，连接 eTuner 安装调试软件 V13.72 查看状态监控界面和历史错误是否有报警信息。

若无报警信息，请先排除报警信息是否被主站控制器清除（即主站控制器通过控制字 0x6040 写 0x80 清除了错误）。

（2）若显示错误代码和报警信息为 0x7314（检测到多圈计数用电池重新接入过，重置负载端编码器清除该报警），请参照本手册第 9.4 节“使用多圈功能的关节位置和注意事项”执行重置负载端编码器的操作，并确认设备零点。

（3）若显示错误代码和报警信息为 0x730F（电池电压低），进一步确认如下：

a. 确认是否安装关节随货配件提供的多圈供电电池，需安装此电池（请勿改装原电池的接线），然后参照本手册第 9.4 节“使用多圈功能的关节位置和注意事项”执行重置负载端编码器的操作，并确认设备零点。

b. 若已安装多圈供电电池并执行过重置负载端编码器，断电重启后仍报错 0x730F（电池电压低），则拆下电池，检查电池本身是否有损坏、变形，接插件是否松动、破损、变形、断线，用万用表测量电池电压是否过低（低于 3.05V）。

1）若检查电池有异常则更换新电池，然后参照本手册第 9.4 节“使用多圈功能的关节位置和注意事项”执行重置负载端编码器的操作，并确认设备零点。

2）若检查电池无异常则用万用表测量关节多圈电池接口两个引脚的阻值（注意需在关节断电情况下测量），电池接口阻值正常是＞ 16MΩ。若阻值异常则联系我司技术支持远程确认。

注：若用户使用机械零点标定功能则需匹配 X3071220X 版本及以上的固件版本。

27.6 RS485（Modbus）通信异常的排查步骤

1、请提供使用的 Modbus 主站控制器品牌、型号给我司技术支持确认。

2、检查关节 RUN_LED 指示灯状态

关节正常运行时 RUN_LED 指示灯为呼吸闪烁状态。若状态不正常，RS485（Modbus）通信无法连接。

3、若 RUN_LED 指示灯状态异常，检查电源供电电压和接线

（1）检查电源正负极接线顺序，请参照本手册第 6.1 节“电源接线方式说明”。

（2）关节驱动正常工作的电源供电电压为 DC24V~48V（最低允许输入电压详见本手册第 3.3 节“eRob 能容许的最低输入电压”），用万用表测量电源输出电压是否在该电压范围。

（3）电源断电，连接物理示波器测量电源开关通电瞬间的电压输出波形，确认是否存在过压冲击（＞ 60V 的情况），请参照本手册第 3.2 节“eRob 能容许的最高输入电压”。

4、若电源正常供电，上电后 RUN_LED 指示灯正常闪烁，进一步确认如下：

（1）检查 RS485 通讯线接线顺序，请参照本手册第 6.4 节“Modbus-RTU 通信接线图”，用万用表测量确认是否连通，检查接插件是否松动、破损、变形、断线，确保接线顺序正确并导通，确保线缆固定无松动。

（2）检查关节 RS485 通讯接口是否存在松动、破损。

5、检查通信参数配置

检查关节以及 Modbus 主站串口的通信参数配置，请参考《eRob 机器人关节 Modbus-RTU 通信应用手册》第 3 章通信参数配置。

6、检查通信指令

检查 Modbus 主站下发的指令是否符合《eRob 机器人关节 Modbus-RTU 通信应用手册》第 1 章的协议格式，控制指令可参考《eRob 机器人关节 Modbus-RTU 通信应用手册》第 5 章控制模式的例程。

7、若以上确认均无异常，请重新整机断电，然后关节先上电，Modbus 主站控制器再上电，等待控制器初始化完成后确认通信连接情况。

从电源打开到伺服使能操作时序请参照《eRob CANopen and EtherCAT 用户手册》第 5.1 节“操作时序”。

8、若 Modbus 通信仍无法连接，将关节断电，用万用表测量关节 RS485 接口阻值

注意需在关节断电，不接任何线缆情况下进行测量。

测量 RS485-A 对 RS485-B 电阻阻值正常约为 0.9KΩ~1.1KΩ、RS485-A 对 GND 电阻阻值正常约为 1.8KΩ~2KΩ 左右、RS485-B 对 GND 电阻阻值正常约为 0.9KΩ~1.1KΩ。

若阻值异常，请确认使用过程中是否带电插拔 RS485 通讯线，带电时插拔 RS485 通讯线易导致 RS485 接口损坏。

二十八、 关于刚性

28.1 刚性

将输入侧（波发生器）固定。向输出侧（柔轮）施加转矩后，输出轴会产生几乎与转矩呈正比的扭转。

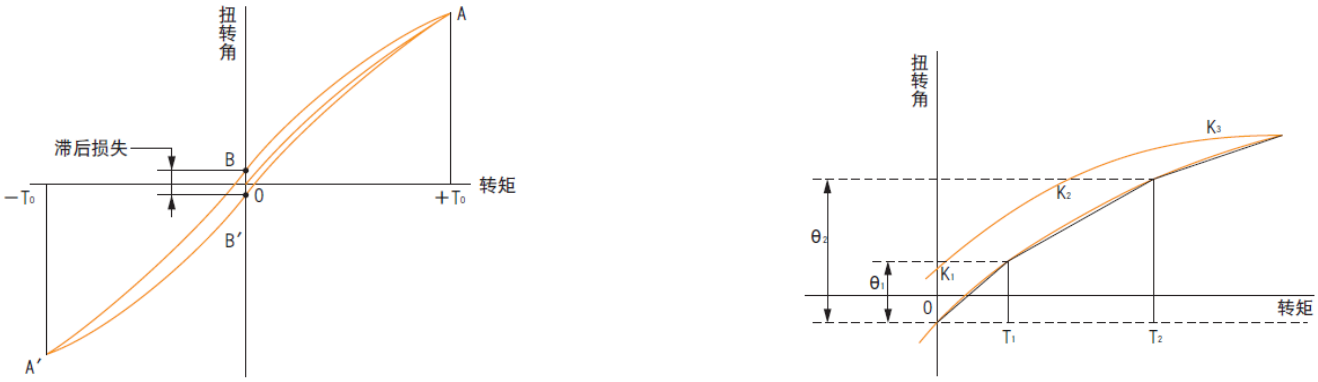
图28-1a是根据在输出轴上施加的转矩从 0 开始，在正负侧分别增减到 $+T_0/-T_0$ 时输出侧的扭转角变化绘制而成的。将其称为“转矩-扭转角线形图”，通常描绘为 0–A–B–A’–B’–A 的环线。对于关节模组的刚性，“转矩-扭转角线形图”的倾斜程度即表述为弹簧常数（单位：N·m/rad）。

如图28-1b所示，将该“转矩-扭转角线形图”分为 3 个区间，各区间时的弹簧常数分别表述为 K_1、K_2、K_3。

K_1：转矩从 0 至 T_1 的弹簧常数。

K_2：转矩从 T_1 至 T_2 的弹簧常数。

K_3：转矩在 T_2 以上区间的弹簧常数。



(a) 转矩-扭转角线形图 **(b)** 弹簧常数的分类

图 28-1: 刚性计算示意图

参考文献：《HarmonicDrive 组合型产品目录.pdf》

表 28-1 各关节模组刚性数值（弹簧常数）

符号 \ 规格族代号			eRob70F	eRob70	eRob80F	eRob80	eRob90	eRob110	eRob110H HD[V6]	eRob142	eRob170
T_1		Nm	2	2	3.9	3.9	7	14	14	29	54
		kgfm	0.2	0.2	0.4	0.4	0.7	1.4	1.4	3	5.5
T_2		Nm	6.9	6.9	12	12	25	48	48	108	196
		kgfm	0.7	0.7	1.2	1.2	2.5	4.9	4.9	11	20
减速比 50	K_1	$\times 10^4$ Nm/rad	0.29	0.34	0.67	0.81	1.3	2.5	—	5.4	10
		kgfm/arcmin	0.085	0.1	0.2	0.24	0.38	0.74	—	1.6	3
	K_2	$\times 10^4$ Nm/rad	0.37	0.47	0.88	1.1	1.8	3.4	—	7.8	14
		kgfm/arcmin	0.11	0.14	0.26	0.32	0.52	1	—	2.3	4.2
	K_3	$\times 10^4$ Nm/rad	0.47	0.57	1.2	1.3	2.3	4.4	—	9.8	18
		kgfm/arcmin	0.14	0.17	0.34	0.4	0.67	1.3	—	2.9	5.3
	θ_1	$\times 10^{-4}$ rad	6.9	5.8	5.8	4.9	5.2	5.5	—	5.5	5.2
		arcmin	2.4	2	2	1.7	1.8	1.9	—	1.9	1.8
	θ_2	$\times 10^{-4}$ rad	19	16	14	12	15.4	15.7	—	15.7	15.4
		arcmin	6.4	5.6	4.6	4.2	5.3	5.4	—	5.4	5.3
减速比 80 以上	K_1	$\times 10^4$ Nm/rad	0.4	0.47	0.84	1	1.6	3.1	3.1	6.7	13
		kgfm/arcmin	0.12	0.14	0.25	0.3	0.47	0.92	0.92	2	3.8
	K_2	$\times 10^4$ Nm/rad	0.44	0.61	0.94	1.4	2.5	5	5	11	20
		kgfm/arcmin	0.13	0.18	0.28	0.4	0.75	1.5	1.5	3.2	6
	K_3	$\times 10^4$ Nm/rad	0.61	0.71	1.3	1.6	2.9	5.7	5.7	12	23
		kgfm/arcmin	0.18	0.21	0.39	0.46	0.85	1.7	1.7	3.7	6.8
	θ_1	$\times 10^{-4}$ rad	5	4.1	4.6	3.9	4.4	4.4	4.4	4.4	4.1
		arcmin	1.7	1.4	1.6	1.3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
	θ_2	$\times 10^{-4}$ rad	16	12	13	9.7	11.3	11.1	11.1	11.6	11.1
		arcmin	5.4	4.2	4.3	3.3	3.9	3.8	3.8	4	3.8

28.2 扭转量的计算示例

以 eRob110H、减速比 100 的配置为例，计算负载引起的扭转角（θ）。

1. **负载转矩极小（$T_{L1} = 2.9$ N·m）时**

由于转矩为 T_1 以下，因此扭转量 θ_{L1} 的计算公式如下：

$$\begin{aligned} \theta_{L1} &= \frac{T_{L1}}{K_1} \\ \theta_{L1} &= \frac{2.9}{3.1 \times 10^4} \end{aligned} \tag{28.1}$$

$$\theta_{L1} = 9.4 \times 10^{-5} \text{ rad } (0.33 \text{ arcmin})$$

2. **负载转矩位于 T_1 与 T_2 之间（$T_{L2} = 39$ N·m）时**

由于转矩在 T_1 和 T_2 之间，因此扭转量 θ_{L2} 的计算公式如下：

$$\begin{aligned} \theta_{L2} &= \theta_1 + \frac{T_{L2} - T_1}{K_2} \\ \theta_{L2} &= 4.4 \times 10^{-4} + \frac{39 - 14}{5.0 \times 10^4} \end{aligned} \tag{28.2}$$

$$\theta_{L2} = 9.4 \times 10^{-4} \text{ rad } (3.2 \text{ arcmin})$$

此外，正反施加负载时的总扭转量为上述所求数值的 2 倍，再加上齿隙量。

注意： 这一扭转量是关节模组单机的数值，不包括输出法兰等的扭转量。

28.3 滞后损失

如图28-1a所示，施加转矩直至达到额定转矩后，转矩恢复为 0 时，扭转角不会完全变为 0，会留有细微的间隙量（B–B’）。这个间隙量被称为滞后损失。

表 28-2 各关节模组滞后损失数值

减速比	规格族代号 / 单位	eRob70F	eRob70	eRob80F	eRob80	eRob90	eRob110	eRob142	eRob170
50	$\times 10^{-4}$ rad	7.3	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
	arcmin	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
80 以上	$\times 10^{-4}$ rad	5.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
	arcmin	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

28.4 齿隙

滞后损失主要由于内部摩擦产生，因此转矩极小的情况下几乎不存在滞后损失，仅有的细微间隙由线形图表示。该量即表述为齿隙量。

由于减速机齿轮啮合部的间隙控制为 0，因此齿隙量是指机械结构连接时产生的间隙。

二十九、 通过外力反驱拖动关节的说明

在不使能情况下单独释放制动器（操作方法参考本手册第 7.3 节“非使能状态，强制开启制动器操作方法”）可以用较小的外力转动关节，由于还有摩擦力和电机拖动的磁感应力且磁感应力是随着转动速度越大阻力就越大，所以需要借助一定的力臂施加扭矩来转动关节。

使用力矩模式（CST 模式或 PT 模式），设定目标力矩（对象字典 0x6071）为 0，然后关节使能，此时通过外力转动关节相比单独释放制动器后转动关节所需的外力更小。

如果想进一步减小拖拽力，通常做法是先通过控制器的拖动示教功能对关节的摩擦力和负载重力进行辨识，然后通过扭矩前馈（对象字典 0x60B2）发送指令给关节进行摩擦力和负载重力补偿。

可以使用关节的扭矩传感器（参考本手册第二十三章《扭矩传感器》说明），作为外部受力的一个反馈，再通过这个力经过控制器的计算处理之后，通过扭矩前馈（对象字典 0x60B2）发送指令给关节进行补偿。

注：CST 模式、PT 模式使用说明参考《eRob CANopen and EtherCAT 用户手册》第 5 章“运动控制”，对象字典说明参考该手册第 8.2 节“对象字典”。

附录 1：多圈供电电池相关安全注意事项

1、不得随意放置电池，防止短路。

2、不要进行加热或放置于 100 ℃的环境中。

3、严禁对电池进行充电。

4、严禁拆卸和解剖电池。

5、严禁将正负极与用电设备反接使用。

6、严禁直接在电池表面使用烙铁焊接或接触其他高温物件。

7、严禁在没有任何防护条件下进行挤压、冲击等各项环境及安全性测试。

8、严禁将电池投入水中或未作防护的条件下在潮湿环境下使用或储存。

9、严禁电池在设备中使用时未设置截止电压点的情况下过度使用，达到截止电压点后需立即从设备中拆除，防止继续有电流工作深度放电。

10、在使用或储存期间如发现电池有发热、散发气味、变色、变形或其他异常之处请停止使用。

11、使用过的电池应按照当地环保规定处理，深埋于地下或投入盐水中。

12、如有电池内部液体溅到皮肤、眼睛及衣服上，立即用大量清水冲洗，再立即就医处理。

13、电池应在远离静电的场所使用和储存。

14、电池应储存在温度不超过 30 ℃、相对湿度 45%～75% 的环境中。

15、电池储存时要远离热源，远离腐蚀性气体环境、避免阳光直射的地方，保证储存区域清洁、凉爽、干燥、通风。

16、电池不使用需保持原包装存放状态，去掉包装后电池不能乱堆放。

17、电池在运输过程中，应避免日晒、火烤、雨淋、水浸及与腐蚀性物质放在一起。

18、运输和装卸中的冲击、震动应限制在最小程度。

19、电池长途运输时，如是船运，应放在远离发动机的地方；夏季不应该长期滞留在不通风的环境内。

附录 2：错误代码及处理

错误代码及处理请参考《eRob CANopen and EtherCAT 用户手册》第 7.2 节“设备报错”。

附录 3：eRob 系列质量、质心与惯性参数

A3.1 参数与坐标系说明

本附录列示 eRob 系列关节模组的质量、质心（重心）与惯性参数，可用于机械臂动力学建模、仿真、选型及控制参数配置。参数按规格族、结构型式、结构版本代号及保持制动器状态分别列示。

统一单位	质量：kg；质心位置：mm；惯性张量：g • mm²。
输出坐标系	本附录中的质心坐标均相对于对应规格族和结构版本代号的输出坐标系原点 O 给出，惯性参数取自该原点 O。输出坐标系原点 O 位于安装法兰端面中心。 I 型：X 轴正方向沿关节模组轴向（芯轴方向）。模组整体近似轴对称，Y、Z 轴的具体径向朝向不作统一规定。 T 型：X 轴正方向指向芯轴，Y 轴正方向指向底座，Z 轴正方向按右手定则确定。
惯性张量	本附录列示 Ixx、Iyy、Izz、Ixy、Ixz、Iyz 六个独立分量，其余分量按对称关系排列，矩阵排列如下。
保持制动器状态	同一规格族和结构版本代号的“含制动器”和“不含制动器”作为独立配置列示，不可混用。

惯性张量分量排列：

Ixx	Ixy	Ixz
Ixy	Iyy	Iyz
Ixz	Iyz	Izz

A3.2 70 系列

表 A3-1 70 系列质量与质心参数

规格族/结构版本代号	保持制动器状态	质量 (kg)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
eRob70F V3	不含制动器	0.77	30.04	0.19	0.01
eRob70F V3	含制动器	0.83	29.6	0.15	0.01
eRob70F V4	不含制动器	0.63	21.24	-0.02	0.06
eRob70F V4	含制动器	0.74	25.32	-0.08	0.06
eRob70I V4	不含制动器	0.87	35.93	0.13	-0.17
eRob70I V4	含制动器	0.93	35.77	0.12	-0.15
eRob70I V5	不含制动器	0.82	31.94	-0.07	-0.17
eRob70I V5	含制动器	0.88	32.15	0.05	-0.24
eRob70T V4	不含制动器	1.18	40.19	2.77	-0.07
eRob70T V4	含制动器	1.24	40.06	2.62	-0.06

表 A3-2 70 系列惯性张量参数（单位：g · mm²）

规格族/结构版本代号	保持制动器状态	Ixx	Iyy	Izz	Ixy	Ixz	Iyz
eRob70F V3	不含制动器	520054.43	1251938.35	1249100.7	7983.94	309.34	-773.58
eRob70F V3	含制动器	532264.27	1280736.98	1277482.84	6437.51	570.51	-795.91
eRob70F V4	不含制动器	401479.98	574126.52	575570.54	-458.29	1754.07	0.88
eRob70F V4	含制动器	466860.42	877378.51	879520.73	-1873.41	1883.51	526.54
eRob70I V4	不含制动器	553919.93	1745217.29	1746080.13	6820.43	-8797.33	1583.28
eRob70I V4	含制动器	575510.24	1829955.27	1830820	6756.12	-8730.43	1616.98
eRob70I V5	不含制动器	526844.9	1412704.85	1413634.92	-3516.8	-8948.56	90.07
eRob70I V5	含制动器	537626.06	1483538.64	1486159.73	495.67	-12041.24	-1050.02
eRob70T V4	不含制动器	934700.01	2997312.27	3055846.40	153197.16	-5576.05	780.34
eRob70T V4	含制动器	955610.80	3098889.83	3157219.00	152791.69	-5421.69	875.15

A3.3 80 系列

表 A3-3 80 系列质量与质心参数

规格族/结构版本代号	保持制动器状态	质量 (kg)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
eRob80F V4	不含制动器	0.89	25.6	0.32	-0.03
eRob80F V4	含制动器	0.95	25.79	0.3	-0.03
eRob80I V5	不含制动器	1.19	36.14	0.12	-0.07
eRob80I V5	含制动器	1.25	36.1	0.11	-0.07
eRob80I V6	不含制动器	1.03	29.34	-0.08	0.09
eRob80I V6	含制动器	1.09	29.72	-0.08	0.08
eRob80T V5	不含制动器	1.88	44.33	2.64	0
eRob80T V5	含制动器	1.94	43.59	2.54	0

表 A3-4 80 系列惯性张量参数（单位：g · mm²）

规格族/结构版本代号	保持制动器状态	Ixx	Iyy	Izz	Ixy	Ixz	Iyz
eRob80F V4	不含制动器	765607.49	1149382.33	1158942.53	13742.27	-1192	451.47
eRob80F V4	含制动器	783436.55	1208856.48	1218343.89	13884.77	-1177.72	467.63
eRob80I V5	不含制动器	896928.43	2566450.56	2565097.78	9752.7	-5974.24	1336.17
eRob80I V5	含制动器	917911.1	2654931.67	2653626.15	9589.38	-6185.57	1246.83
eRob80I V6	不含制动器	867115.76	1588048.58	1585473.06	-4402.49	5012.04	165.06
eRob80I V6	含制动器	891140.10	1689008.76	1686316.60	-4692.43	5065.94	226.61
eRob80T V5	不含制动器	1817724.51	5498533.75	5585185.47	247060.43	-28.28	-214.31
eRob80T V5	含制动器	1850752.06	5590792.39	5672951.14	248504.24	1530.39	-263.71

A3.4 90 系列

表 A3-5 90 系列质量与质心参数

规格族/结构版本代号	保持制动器状态	质量 (kg)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
eRob90I V3	不含制动器	1.75	42.062	0.055	-0.093
eRob90I V3	含制动器	1.87	41.816	0.053	-0.09
eRob90I V6	不含制动器	1.506	35.258	0.125	0.055
eRob90I V6	含制动器	1.639	35.5	0.083	0.063
eRob90T V3	不含制动器	2.48	48.7	3.11	0.02
eRob90T V3	含制动器	2.6	48.38	2.94	0.02

表 A3-6 90 系列惯性张量参数（单位：g · mm²）

规格族/结构版本代号	保持制动器状态	Ixx	Iyy	Izz	Ixy	Ixz	Iyz
eRob90I V3	不含制动器	1755620	5104739	5106169	7871	-12505	1923
eRob90I V3	含制动器	1828460	5351397	5352981	7948	-12740	1980
eRob90I V6	不含制动器	1611896.2	3332470.13	3338675.857	12842.86	9153.623	681.696
eRob90I V6	含制动器	1712965.103	3633827.048	3636388.207	11206.837	10053.431	638.521
eRob90T V3	不含制动器	3159593.03	9321410.36	9460607.34	448261.52	-868.97	-2466.52
eRob90T V3	含制动器	3231356.07	9607576.93	9746778.78	448054.78	-655.67	-2359.84

A3.5 110 系列

表 A3-7 110 系列质量与质心参数

规格族/结构版本代号	保持制动器状态	质量 (kg)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
eRob110I V4	不含制动器	2.88	47.865	0.024	0.068
eRob110I V4	含制动器	3.06	47.717	0.023	0.067
eRob110I V6	不含制动器	2.57	38.06	0.03	-0.06
eRob110I V6	含制动器	2.68	38.4	0.02	-0.06
eRob110T V4	不含制动器	4.31	59.34	4.23	-0.02
eRob110T V4	含制动器	4.49	59.08	4.09	-0.02

表 A3-8 110 系列惯性张量参数（单位：g · mm²）

规格族/结构版本代号	保持制动器状态	Ixx	Iyy	Izz	Ixy	Ixz	Iyz
eRob110I V4	不含制动器	3831329	11120578	11125705	5073	16071	-1318
eRob110I V4	含制动器	3903858	11433582	11438857	5106	16328	-1337
eRob110I V6	不含制动器	3983724.16	6771662.07	6773309.32	1276.36	-11110.94	-1406.28
eRob110I V6	含制动器	4054239.65	7074559.72	7076162.17	-714.37	-11994.09	-1845.72
eRob110T V4	不含制动器	7859752.57	23582224.33	23983461.29	1340070.48	-11604.81	1766.47
eRob110T V4	含制动器	7932281.31	23979335.11	24380530.78	1340312.33	-11423.88	1693.37

A3.6 142 系列

表 A3-9 142 系列质量与质心参数

规格族/结构版本代号	保持制动器状态	质量 (kg)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
eRob142I V4	不含制动器	6.49	61.216	-0.168	-0.176
eRob142I V4	含制动器	6.7	61.067	-0.162	-0.17
eRob142T V4	不含制动器	8.01	68.67	5.23	-0.02
eRob142T V4	含制动器	8.22	68.44	5.1	-0.02

表 A3-10 142 系列惯性张量参数（单位：g · mm²）

规格族/结构版本代号	保持制动器状态	Ixx	Iyy	Izz	Ixy	Ixz	Iyz
eRob142I V4	不含制动器	16780319	40969373	40910769	-128335	-136569	8627
eRob142I V4	含制动器	16917503	41723532	41664810	-128026	-136453	8574
eRob142T V4	不含制动器	25527620	62841200	63813840	3678450	-480	-3100
eRob142T V4	含制动器	25665340	63676520	64649110	3678170	-680	-3180

A3.7 170 系列

表 A3-11 170 系列质量与质心参数

规格族/结构版本代号	保持制动器状态	质量 (kg)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
eRob170I V3	不含制动器	9.29	59.397	0.116	0.152
eRob170I V3	含制动器	9.5	59.526	0.114	0.149

表 A3-12 170 系列惯性张量参数（单位：g · mm²）

规格族/结构版本代号	保持制动器状态	Ixx	Iyy	Izz	Ixy	Ixz	Iyz
eRob170I V3	不含制动器	30919000	60810000	60759000	135000	195000	-7000
eRob170I V3	含制动器	31058000	61696000	61644000	135000	195000	-7000

附录 4：eTunerII 操作指引

A4.1 使用范围与功能索引

本手册同时提供 eTuner 与 eTunerII 两款安装调试软件的使用指引。正文介绍 eTuner 的操作步骤，并提供相应界面图，第 14 章提供 eTunerII 的正文使用指引，本附录补充各功能的必要差异；设备接线、供电、机械行程、负载条件和固件要求继续按正文执行。请选择与所用软件对应的操作路径。

正文中的 eTuner 界面和 V13.72 路径为操作示例，不代表当前最新发行版本。第 9、14、15、16、27 章及本附录中的 eTunerII 界面图仅作操作示例。浅色与深色界面均属于 eTunerII 新版；使用时请结合所用版本的随附帮助确认。两款软件的功能、信号名称与参数文件不能直接假定完全等价。

打开 eTunerII 帮助文档

点击 eTunerII 标题栏的“帮助文档”，或使用浏览器打开软件包中的 help/index.html。按本附录列出的章节编号和标题查找具体操作及界面图。离线查阅时保留完整 help 目录及其 images 子目录。

按任务选择操作路径

任务	eTuner 及产品说明	eTunerII（新版）指引
安装、连接设备	第 13 章；第 27.1 节	A4.2 安装与连接
参数修改、应用与保存	各功能章节的原操作步骤	A4.3 参数编辑、保存与常用入口
刹车操作与电流检查	第 7.3.1、7.4 节	A4.4 释放和启用刹车
位置、编码器与机械零点	第 9 章；第 10 章复位说明	A4.5 位置反馈与编码器操作
速度换算与试运行	第 12、15 章	A4.6 关节试运行
PID 整定、激励与录波	第 16 章；第 18 章波形示例	A4.7PID 整定与波形采集
STO 配置	第 22 章	A4.8STO 配置
脉冲加方向控制（PD）	第 25 章	A4.9 脉冲加方向控制
CAN ID 及连接排查	第 27.1 节	A4.10CAN ID 与连接排查
自检、报警与故障取证	第 27.3～27.5 节	A4.11 自检与故障取证
恢复出厂与参数文件	第 21 章；原参数存储操作	A4.12 恢复出厂参数与参数文件

正文中的 eTuner 截图适用于 eTuner；eTunerII 浅色界面示例见第 9、14、15、16、27 章，深色界面示例见本附录；完整步骤和其他界面图仍查阅 eTunerII 随附帮助。正文中的 CANopen/EtherCAT 主站、TwinCAT 及固件升级工具按各自说明使用。

A4.2 安装与连接

接线按第 13 章及第 6 章执行。eTuner 按“连接设置 → 连接测试 → 加入列表 → 连接”的流程操作；使用 eTunerII 时，启动 etuner2.exe，在设备选择页展开“扫描设备”，选择设备类型 eRob、通信方式 CAN，执行“扫描并添加”，再点击目标设备卡片连接。进入工作台后，在“设备信息”中核对型号、固件版本及 CAN ID。

eTunerII 的 USB 转 CAN 驱动路径示例为 drivers/erob/DriverSetup64.exe，安装时保留同目录配套文件；不要沿用正文 eTuner 示例中的驱动目录寻找新版文件。

详细操作与界面图：《eTunerII 用户帮助》第 01、02 节“使用前准备”和“首次连接”。

连接差异：eTunerII 设备卡片是本地记录，不表示设备当前在线。该版本通信配置固定为 1Mbps，同一时刻连接一台目标设备。断开、重连和切换设备详见帮助第 02 节。

A4.3 参数编辑、保存与常用入口

eTuner 的窗口内“应用”和主界面“保存”步骤继续参见正文。eTunerII 从“设备参数”进入相应分组；编辑后在“参数管理”核对全部待应用修改，执行“应用”，成功后点击主导航“保存参数”，等待保存成功。

保存范围：编辑只是本地草稿；“应用”会提交所有分组的有效草稿；“保存参数”才写入设备 Flash。只修改输入框或只等待约 3 秒均不能作为保存成功的判断。刹车及编码器直接命令按 A4.4、A4.5 节的单独要求执行。

详细操作与界面图：《eTunerII 用户帮助》第 05 节“编辑与保存参数”（“完成一次参数修改”“查看和处理变更”）。

正文中的功能	eTunerII 入口或字段
第 2 章单多圈识别	设备参数 → 编码器 → 负载端 → 使用多圈绝对位置
第 3 章电压限制	设备参数 → 安全电源 → 最大/最小允许母线电压
第 9.6 节位置限制	设备参数 → 位置保护 → 位置下限、位置上限
第 16、22 章控制模式	设备参数 → 控制模式 → 运行模式、控制来源
第 16 章 PID	设备参数 → PID
第 15、27 章速度限制	设备参数 → 安全速度 → 最大允许速度
第 22、25 章 I/O 配置	设备参数 → IO 配置
第 26 章持续电流	设备参数 → 安全电源 → 持续电流

“使用多圈绝对位置”在 eTunerII 当前参数页为只读配置，用于识别设备；不能通过勾选将单圈硬件变成多圈硬件。

电压单位换算提醒

正文电压说明使用 V，eTuner 截图与 eTunerII 安全电源参数使用 mV。第 3 章 57.2V、46.8V 示例分别对应 57200、46800mV；26.4V、21.6V 分别对应 26400、21600mV。输入前核对界面单位；示例是否适用仍取决于正文的型号、供电条件及电压范围。

A4.4 释放和启用刹车

eTuner 操作及界面图见第 7.3.1 节。使用 eTunerII 时，先确认电机已停止且未使能，卸下或可靠支撑负载，再进入“设备参数 → 设置马达”，使用“释放刹车”及变更后的“启用刹车”按钮，阅读提示并确认。

详细操作与界面图：《eTunerII 用户帮助》第 05 节“编辑与保存参数”（“释放与启用刹车”）。

eTunerII 刹车按钮直接执行命令，不需要“应用”或“保存参数”。“启用刹车”通过下使能请求执行，按钮文字不代表实际机械制动状态，仍需检查设备。第 7.4 节检查继续测量电源输出电流，不能用状态监控中的“电机电流”代替。

A4.5 位置反馈与编码器操作

查看位置反馈（对应第 9.2 节）

eTuner 的“状态监控”和“编码器”界面见图 9-2。eTunerII 在“状态监控”中查看“位置”和“负载编码器位置”，需要跨页面观察时可使用“打开状态浮窗”；编码器类型、软件分辨率及单多圈配置在“设备参数 → 编码器”中查看。

“位置”“负载编码器位置”和“电机端编码器位置”是不同信号，不能互相代替，也不能直接将读数当成角度。详细操作见帮助第 10 节“状态与故障诊断”。状态监控界面见图 9-2A。

重置负载端编码器（对应第 9.4 节及表 10-1）

按正文检查并连接多圈电池，确认电机停止且未使能。eTuner 的操作见第 9.4 节及图 9-3；eTunerII 使用“设备参数 → 编码器 → 重置负载端编码器”，等待命令确认后检查故障、位置反馈并重新确认机械零点。

该命令仅对已确认启用负载端多圈的设备提供；它不会把当前位置设为指定数值，也不会自动保存或重启设备。

标定机械零点（对应第 9.5 节）

eTuner 的“机械零点标定”步骤和界面图见第 9.5 节。eTunerII 使用“设备参数 → 编码器 → 重置当前位置”：先按 A4.6 节运动至用户定义的机械零点，再停止运动、确认停稳并下使能。单圈目标固定为 262144count；多圈可输入有符号 32 位目标值，默认 262144count；沿用正文单圈内示例时按 0～524287 选值。

等待参数回读确认后保存参数，再按正文要求断电重启、重新连接，在该机械位置核对实际位置反馈。该重置操作本身不需点击“应用”，但需要保存参数。参数回读确认不代替重启后的实际位置验证；正文 X3071220X 及以上固件要求继续适用。

详细操作与界面图：《eTunerII 用户帮助》第 05 节“编辑与保存参数”（编码器重置及“重置当前位置”）。

位置保护（对应第 9.6 节）

eTuner 按第 9.6 节的界面图设置位置限制；eTunerII 进入“设备参数 → 位置保护”，设置“位置下限”“位置上限”，再按 A4.3 节应用并保存。限位数值应依据实际机械行程与编码器配置确定。

A4.6 关节试运行

eTuner 运动界面及按钮说明见第 15 章。使用 eTunerII 时，先核对“设备参数 → 安全速度”中的限制，再进入“运动调试 → 参数给定”。试运行前确认模组可靠固定、负载及运动空间满足条件，填写速度、加速度和减速度，确认设备状态后使能，再发出运动命令，并从低转速开始；速度换算见第 12 章；新版运动调试界面见图 15-3、图 A4-1。

详细操作与界面图：《eTunerII 用户帮助》第 07 节“运动调试”（“参数给定：位置与速度运动”“停止运动与电机停止”）。

eTunerII 位置单位为 count，速度为 count/s，加减速度为 count/s^2，往返等待时间为 ms；软件不自动将 RPM 或角速度换算为设备单位。正文 524288count/圈的公式仅在相应 19bit 配置下适用。

操作	eTunerII 操作方法
绝对位置运动	填写目标位置，点击“运动至目标位置”。
相对运动	填写正的移动增量，使用相对位置区域的正向或负向运动按钮。
往返运动	勾选“往返运动”并设置等待时间。
速度点动	不勾选“持续运动”，按住方向按钮；松开、移出或失焦时请求停止。
持续速度运动	勾选“持续运动”并选择方向；使用“停止运动”结束。
减速停止当前运动	使用“停止运动”；该操作本身不下使能。
下使能	确认停稳后使用主导航“电机停止”，并检查实际制动器及设备状态。

运动与停止差异：eTunerII 点动在按住方向按钮时运动，松开、移出或失焦时请求停止；持续运动不会因普通切页而停止。正常结束时先使用“停止运动”减速停止，确认停稳后再用主导航“电机停止”下使能并检查制动器状态。“停止运动”本身不等于下使能。

eTunerII 运动页没有 Jerk 输入及“应用加减速限制所有运动”开关；需要这些设置时，按所用通信方式的通讯手册由外部控制器配置，不能把 eTuner 开关的操作直接套到新版。

eTunerII（新版）| 运动调试（深色界面）



图 A4-1 eTunerII 运动调试（深色界面）

深色界面同属 eTunerII 新版。图中运动参数为示例值，试运行请按 A4.6 节及实际机械条件设置。

截图用于识别界面与入口。图中状态、数值和波形为示例，不能直接作为推荐参数、操作条件或验收指标。

A4.7 PID 整定与波形采集

eTuner 的 PID、激励、示波器步骤和响应图见第 16 章。eTunerII 将这三项操作分开：参数在“设备参数 → PID”，激励在“运动调试 → 曲线给定”，完整波形采集在主导航“示波器”，界面示例见图 16-12、图 A4-2。

整定前按第 16 章放置负载、确认停稳并下使能，在“设备参数 → 控制模式”将“运行模式”设为“位置”、“控制来源”设为“不使用”，核对并应用。电流环参数出厂已设置好，不需修改。

速度环整定

1. 在“设备参数 → PID”修改速度环增益、速度环积分，并应用。
2. 在“示波器 → 配置图表”中，将“速度给定”和“实际速度”加入同一张图。
3. 采样间隔选择 0.5ms；条件触发选择“速度给定不等于 0”，触发位置设为 0%。点击“开始采集”，等待触发。
4. 在“运动调试 → 曲线给定”中，确认使能状态，选择速度激励及方波或正弦波，填写幅值与频率并运行。
5. 查看采集结果，停止运动并下使能，再进行下一轮调整。整定完成后保存参数并等待成功。

正文推荐频率和幅值仅在其适用机械条件下参考；eTunerII 幅值输入为整数。

位置环整定

操作顺序与速度环相同，改为调整“位置环增益”、采集“位置给定”和“实际位置”，并选择位置激励。仍可使用“速度给定不等于 0”触发，触发信号不必加入采集图表。

采集设置：原 500 微秒/点对应 0.5ms；当前两路信号各 4000 点时约为 2 秒。录波时长由采样间隔和信号数量决定，不是独立输入项；增加信号会缩短时长，以界面预计时长为准。原“目标值（限幅）”与新版“位置给定”“速度给定”不能仅凭名称认定完全等义。

条件触发可按帮助设置“速度给定不等于 0”、触发位置 0%；位置激励也可使用该触发信号，触发信号不必加入采集图表。第 18 章图 18-5 为 eTuner 采集示例，采样间隔、时长在新版按上述规则核对。

参数编辑参见帮助第 05 节“编辑与保存参数”；激励参见第 07 节“运动调试”中的“曲线给定”；采集与导出参见第 09 节“设备录波与导出”。第 08 节“实时示波”可用于实时观察，但不用于保存完整历史样本。

通过 EtherCAT 动态调整 PID

eTuner 按第 16.3 节操作。eTunerII 在“设备参数 → PID”启用“允许总线调节 PID”，应用并保存，再由外部 EtherCAT 主站按正文 SDO 方法修改。切回 eTunerII 调参前禁用该选项，应用并保存，刷新并核对参数后继续调整。eTunerII 在此设置调参许可，实际 SDO 操作由外部主站完成。

eTunerII（新版）| 示波器（深色界面）

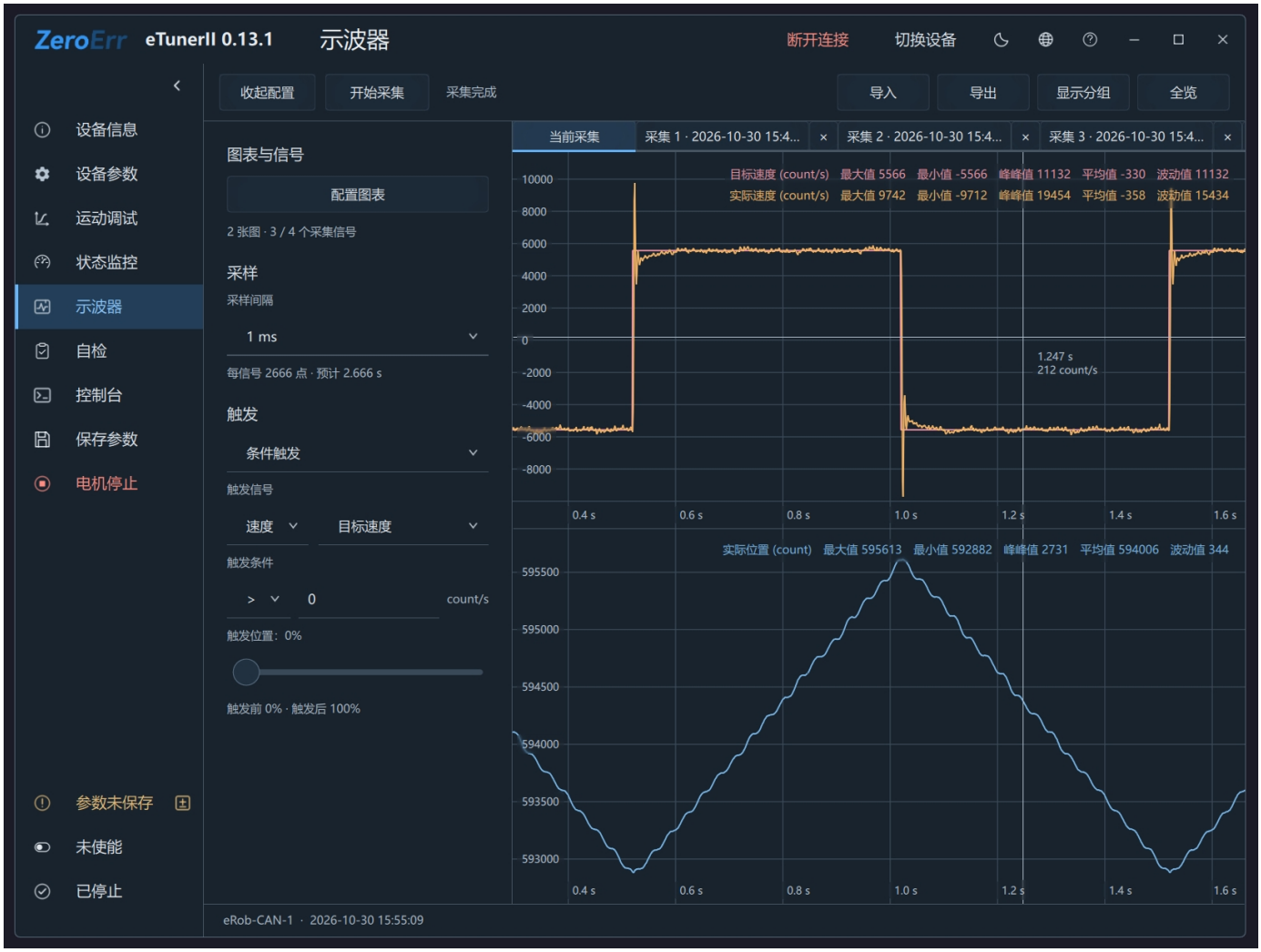


图 A4-2 eTunerII 示波器（深色界面）

深色界面同属 eTunerII 新版。此界面显示“开始采集”“目标速度”等标签，具体操作以所用版本随附帮助为准。

截图用于识别界面与入口。图中状态、数值和波形为示例，不能直接作为推荐参数、操作条件或验收指标。

A4.8 STO 配置

第 22 章的接线及产品安全使用要求继续执行，eTuner 的 I/O 界面及“2-一路 STO”“3-两路 STO”显示见第 22 章。eTunerII 配置前确认电机已停止且未使能，将“设备参数 → 控制模式”的“控制来源”设为“不使用”，再进入“设备参数 → IO 配置”。

所需配置	eTunerII 设置
一路 STO	数字输入 1 功能选“STOA”；STO 配置选“一路”。
两路 STO	数字输入 1 选“STOA”、数字输入 2 选“STOB”；STO 配置选“二路”。

核对后应用并保存，再按产品安全使用说明验证实际功能。eTunerII 选择项显示“关闭 / 一路 / 二路”，不能把 eTuner 界面的 2、3 当作 eTunerII 需要填写的值。

详细操作与界面图：《eTunerII 用户帮助》第 05 节“编辑与保存参数”。

A4.9 脉冲加方向控制

eTuner 的 PD 开关、外部使能步骤及图片见第 25 章。使用 eTunerII 时，分别完成方向和齿轮比、模式启用及外部使能配置；正文接线、使能分配、重启及机械条件仍适用。

方向、齿轮比与脉冲监控

在“设备参数 → PD 控制”设置“PD 输入逻辑”和齿轮比分子、分母，然后应用并保存。沿用正文 19bit 配置的示例，1000 个输入脉冲对应一圈时可取分子 524288、分母 1000。收到的脉冲读数在“状态监控 → 脉冲位置”查看。

启用 PD 模式

eTunerII 的 PD 参数页没有“脉冲方向控制模式”开关，只设置方向和齿轮比不会启用 PD 模式。开始控制前，需要由外部控制器将 MotionMode 设为 4，具体设置按所用通信方式的通讯手册执行；不要将此值直接当作其他协议对象的模式值。

外部使能及轮廓参数

按正文接线示例，在“设备参数 → IO 配置”将“数字输入 3”的功能设为“使能”，并设置“取反”，应用、保存成功后按要求断电重启。DIn03、DIn04、DIn05、DIn06 中的相同使能功能只能分配给一个 I/O。

外部 PD 控制所需的轮廓速度、加速度和减速度由外部控制器按相应通讯手册设置。不要为了写入这些参数而点击 eTunerII 运动调试的方向按钮，这会启动软件运动。

详细操作与界面图：《eTunerII 用户帮助》第 05、10 节“编辑与保存参数”和“状态与故障诊断”。

A4.10 CAN ID 与连接排查

第 27.1 节供电、RUN_LED、CAN 接线和接口阻值的检查继续适用。eTuner 按“连接测试”流程排查；eTunerII 使用“扫描并添加”重新发现设备，驱动或软件占用问题见帮助第 13 节“常见问题”。

重复 ID 排查仍应断电、逐台单独接线，再上电连接。eTunerII 在“设备信息”中修改 CAN ID：确认电机停止且未使能，在 CAN ID 旁点击编辑图标，输入唯一的 1～63 ID 并确认；点击“保存参数”，成功后断电重启，再重新扫描连接。

重启前仍使用原通信 ID。设备卡片数量、历史记录数量及本次新增数量均不能代替本轮扫描实际发现的设备数量。

详细操作与界面图：《eTunerII 用户帮助》第 04 节“设备信息与 CAN ID”（“修改 CAN ID”）。

A4.11 自检与故障取证

故障与历史记录

eTuner 状态监控、历史错误的操作见第 27 章。eTunerII 使用“状态监控 → 故障诊断”，详细操作见帮助第 10 节“状态与故障诊断”。“本次连接故障记录”只保留当前连接期间观察到的故障，断开后清空，不是设备永久历史。

eTunerII 的 CAN 故障码与正文 0x603F 对象错误码不能只靠进制转换对应；记录界面原始码、文字说明、设备信息和复现条件。编码器相关操作见 A4.5 节。

自检、测试范围与记录目录

eTuner 自检视频、步骤和 eTuner_V13.72/Self_check_report 目录见第 27.3 节。eTunerII 按帮助第 11 节“自检与测试记录”中的“全项测试”“记录保存在哪里”操作：确认空载、可靠固定及运动空间后，在“自检”页启动测试；结束后查看结果、清理情况与记录保存状态。新版自检界面见图 27-4A、图 A4-3。

带载时仅查看“设备信息”，不执行全项运动测试。该版本未启用出厂参数比较，核对模组信息或全项测试通过不能证明参数与出厂值一致。

eTunerII 记录位于%LOCALAPPDATA%\eTuner2\selftest；通过“打开保存目录”查看 log.txt、waveform-*.csv 和 summary.json。波形可用“示波器 → 导入”打开。

速度误差等故障的波形采集

eTuner 的“故障诊断自动触发示波器”流程见第 27.4 节。eTunerII 没有完全等效的自动入口：故障诊断不会自动启动录波，当前可选触发源也没有“故障码”。

使用 eTunerII 时，在“示波器 → 配置图表”选择“位置给定”“实际速度”“电机电流”，不同单位放入不同图表；设置采样间隔，使用“立即采集”或合适信号的“条件触发”，准备好采集后再按适用条件复现问题。导出 CSV，需要图片时再导出 PNG，连同故障信息交技术支持分析。

详细操作与界面图：《eTunerII 用户帮助》第 09 节“设备录波与导出”。

手动采集不能保证与 eTuner 原故障触发流程捕获相同时刻；应记录所用软件、触发设置、采样条件和复现动作。

eTunerII（新版）| 自检（深色界面）



图 A4-3 eTunerII 自检（深色界面）

深色界面同属 eTunerII 新版。测试记录、波形及“通过”为截图中的示例结果，不作为产品验收指标。

截图用于识别界面与入口。图中状态、数值和波形为示例，不能直接作为推荐参数、操作条件或验收指标。

A4.12 恢复出厂参数与参数文件

恢复出厂参数（对应第 21 章）

eTuner 继续按第 21 章“参数存储 → 参数上传和下载 → 恢复出厂参数”的原步骤及图片操作。eTunerII 的入口为“设备参数 → 参数管理 → 恢复出厂参数”，流程为：

1. 确认恢复操作，等待“恢复请求已保存”并断开。
2. 断电重启设备，重新扫描并连接。
3. 核对恢复结果，再次保存参数并等待成功。

详细操作与界面图：《eTunerII 用户帮助》第 12 节“恢复出厂参数”。

第 21 章关于出货时间、固件版本和恢复功能使用条件继续适用。恢复出厂参数不会升级固件；第 20 章的固件升级仍使用配套升级工具。

保存本地参数文件

eTuner 参数文件操作应按所用版本的说明执行。eTunerII 导入、导出操作见帮助第 06 节“导入与导出参数文件”；请区分设备 Flash 中的保存与电脑上的文件导出。

> **eTunerII 导出范围与兼容性**
>
> 该版本只导出固定 17 项调试参数，不是完整设备备份，不能用于完整备份 STO、PD、电压限制、CAN ID 或编码器零偏。导入.json 需要固件版本严格匹配，导入后仍需应用并保存。不能直接假定 eTuner 文件与 eTunerII 兼容。

查阅与版本对应

需要完整界面步骤或配图时，打开当前软件包的 help/index.html 并查找本附录对应章节。刹车、编码器重置、总线 PID 开关及 PD 参数页的入口随发行版本可能不同，使用前核对软件已提供相应功能。

本附录中的功能索引列出对应产品章节；使用 eTuner 时继续按正文标明的操作及图片执行。